



Volume I. Chapitre 2

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente

Lucien SEGUY, Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Serge BOUZINAC,
Roger MICHELLON, André CHABANNE, Stéphane BOULAKIA,
Florent TIVET, Krishna NAUDIN, Frank ENJALRIC, Stéphane CHABIERSKI
Pierson RAKOTONDRALAMBO, RAKOTONDRAMANANA

Octobre 2009



Ministère de l'Agriculture,
de l'Élevage et de la Pêche

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) vise à leur permettre de reproduire le fonctionnement d'un écosystème naturel forestier qui repose sur trois "piliers"(cf. Volume I. Chapitre 1.):



Sol sous couverture végétale de Stylosanthes guianensis

- la couverture végétale permanente du sol/litière (alimentée par une forte production de biomasse et non perturbée en l'absence de travail du sol);
- la biodiversité fonctionnelle : les différentes espèces permettent d'assurer une diversité de fonctions écosystémiques fondamentales (structuration du sol, mobilisation et/ou recyclage d'éléments nutritifs, contrôle de l'enherbement, contrôle des bioagresseurs, détoxification, etc.). Elles assurent aussi une forte production de biomasse (matière organique fraîche abondante, grâce en particulier à une bonne efficacité de l'eau) qui, restituée au sol, permet d'alimenter la litière et le stock de carbone du sol, dans un turn-over important et rapide de la matière organique;
- l'activité biologique intense, favorisée par la couverture permanente du sol et la forte production de biomasse par des plantes diverses. Cette forte activité biologique contribue à remplir de nombreuses fonctions, et joue un rôle clef dans le cycle de la matière organique, la structuration du sol et l'alimentation et la santé des plantes.

La gestion des systèmes SCV correspond donc à la gestion de populations de plantes (et indirectement d'organismes vivants du sol), de façon à produire des cultures d'intérêt tout en maximisant la production totale d'une biomasse assurant diverses fonctions écosystémiques. Le choix des espèces (et variétés) se fait sur la base de leurs aptitudes à remplir certaines fonctions, de manière à lever le plus rapidement possible les principales contraintes agronomiques (compaction, fertilité, bioagresseurs, etc.), dans un environnement bio-physique (sol, climat, flore adventice, bioagresseurs, etc.) et socio-économique (exploitation, terroir, marchés, etc.) donné, tout en satisfaisant les objectifs de production.

Dans la pratique, on peut distinguer deux grands modes de gestion des systèmes SCV :

- les systèmes sur couverture morte, dans lesquels les résidus de récolte et/ou les plantes de couverture sont totalement desséchés à l'herbicide total, contrôlés mécaniquement (rouleau à cornière, fauche, décapage) ou meurent naturellement (fin du cycle des annuelles, gel, etc.);
- les systèmes sur couverture végétale vive, pour lesquels on se contente de maîtriser une plante de couverture pérenne pour la durée de la culture mais sans la tuer, afin qu'elle se réinstalle d'elle-même après la période de culture.

Les principes de base pour optimiser la production de biomasse

- Maximiser la production en utilisant tout l'espace disponible (associations de cultures dans les parcelles cultivées et plantes de couverture dans les zones incultes), aussi longtemps que possible (successions de cultures, utilisation de plantes annuelles capables de se développer en saison sèche et/ou froide, utilisation de plantes pérennes, semis précoce, remplacement systématique des plants manquants, etc.).
- Redresser la fertilité du sol aussi vite que possible (engrais minéraux ou organiques, écobuage et/ou "pompes biologiques" végétales) et optimiser l'utilisation des éléments nutritifs (limitation des pertes, recyclage, mobilisation des éléments peu disponibles, etc.).
- Optimiser l'utilisation de l'eau, en produisant un maximum de biomasse pendant la saison des pluies et en utilisant pendant la saison sèche l'eau infiltrée en profondeur (plantes recycleuses au système racinaire profond, capables de prolonger leur croissance très tard dans la saison sèche).
- Associer autant que possible des plantes aux caractéristiques diverses (permettant d'optimiser la production sous contraintes climatiques diverses), à forte biomasse aérienne et racinaire.
- Ne pas immobiliser la terre pour la production de biomasse uniquement (sauf quand l'espace disponible le permet facilement). Rentabiliser autant que possible les plantes de couverture en les associant à une culture.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Dans tous les cas, les performances de ces systèmes reposent avant tout sur la biomasse produite et restituée à la parcelle, qui permet au sol de retrouver et d'entretenir des propriétés physiques, chimiques et biologiques favorables.

1. Production et gestion de la biomasse en SCV

Les besoins en biomasse pour couvrir les pertes par minéralisation et assurer un bon fonctionnement des systèmes SCV varient principalement selon le climat (et le type de résidus). Dans un écosystème cultivé, utiliser uniquement les résidus de récolte est en général insuffisant pour approvisionner correctement le sol en matière organique fraîche, surtout en milieu tropical où la minéralisation est rapide. Les plantes cultivées doivent être "renforcées" par des plantes qui permettent d'utiliser pleinement les ressources et ainsi d'augmenter la production totale de biomasse. La transition entre système conventionnel (labour) et SCV se fait d'autant plus rapidement et facilement que les systèmes choisis produisent une biomasse importante la (ou les) première(s) année(s).

1.1. Production de biomasse (matière organique fraîche)

Périodes de production possible

La période de production possible est déterminée avant tout par le climat et le régime hydrique des parcelles, et par les plantes cultivées. Afin de maximiser la production de biomasse, le principe de base est d'occuper autant que possible les plages non valorisées par les cultures, que ce soit dans l'espace (associations de plantes) ou dans le temps (successions).

De nombreuses plantes de couverture ont été sélectionnées pour leur aptitude à se développer efficacement en conditions marginales et ainsi étendre autant que possible la période de production de biomasse : i) durant la période froide dans les climats tempérés, ii) aussi loin que possible durant la saison sèche quand elle est marquée, iii) avant ou après la culture principale quand la saison des pluies est plus longue que le cycle de cette culture (très rapidement en début ou en fin de saison des pluies) ou, iv) lors d'une "petite" période de pluies dans les climats bimodaux avec deux saisons des pluies.

Cependant, les conditions climatiques favorables à une forte production de biomasse (chaleur, ensoleillement et pluies) sont aussi très favorables à la décomposition de la matière organique et à la minéralisation. Pour assurer un bon fonctionnement des SCV, il faut assurer une très forte production de biomasse à ces périodes pour compenser la décomposition rapide, et produire autant que possible pendant les périodes marginales, qui permettent d'accroître considérablement la production totale de biomasse (et durant lesquelles les pertes sont moins rapides).

Associations et successions de cultures

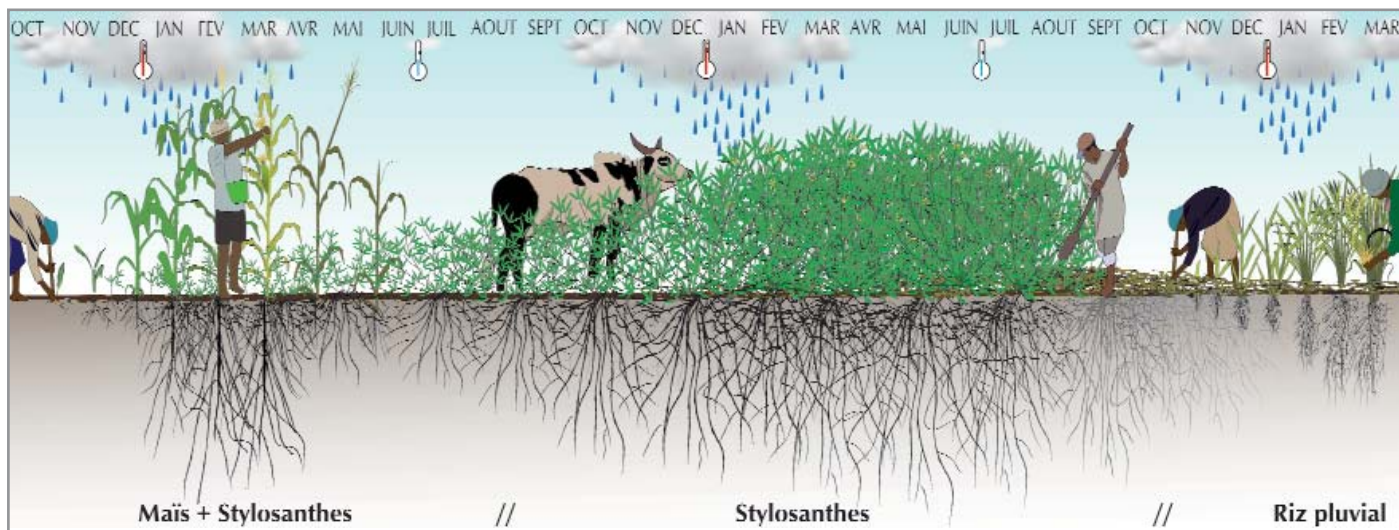
Les associations de plantes sont utilisées autant que possible car elles permettent d'assurer une production de biomasse globalement plus importante et plus stable. Il s'agit là d'un principe de base en écologie : la diversité donne plus de chances d'avoir des plantes adaptées aux conditions réelles de production (sols, aléas climatiques, etc.), et la complémentarité des plantes permet une meilleure valorisation des ressources. La diversité des espèces permet également d'apporter une biodiversité fonctionnelle qui assure des fonctions et rend des services écosystémiques variés (séquestration de carbone, recyclage des éléments nutritifs, contrôle des adventices et des bioagresseurs, etc.)

Lorsque l'espace disponible est suffisant, la solution la plus facile à mettre en œuvre est d'alterner cultures et plantes de couverture à très forte production de biomasse. La meilleure solution consiste à installer dans la culture une (ou plusieurs) plante(s) de couverture vivace(s) en en décalant le semis, et de la (les) laisser se développer l'année suivante (jachère améliorée).



Association maïs + dolique sur les hautes terres malgaches

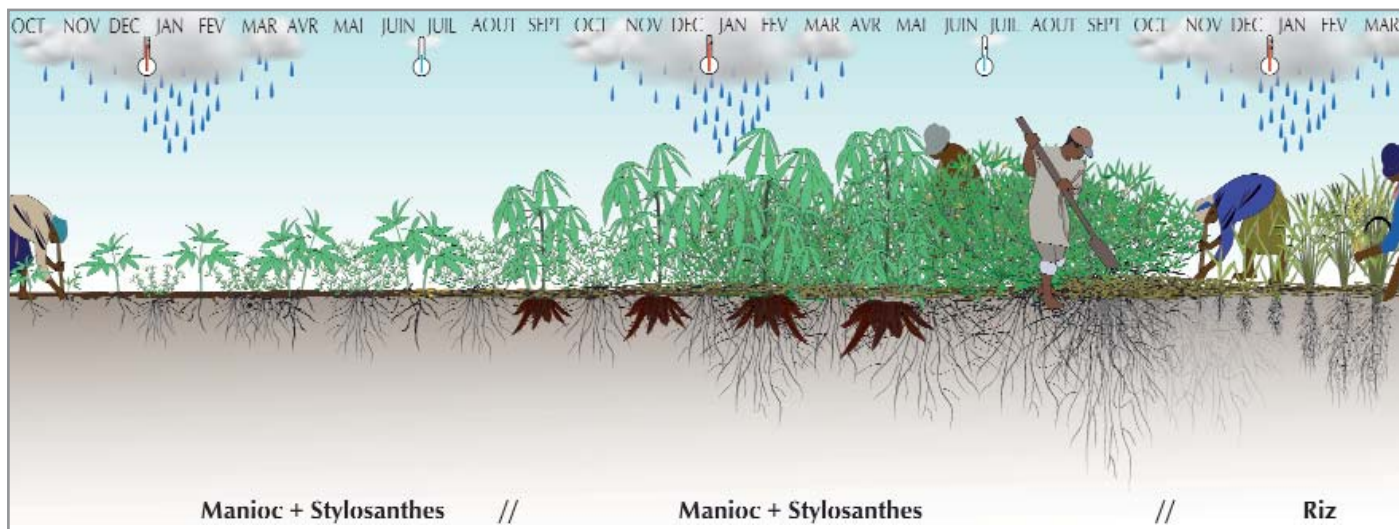
La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct



Exemple de système quand l'espace disponible est suffisant pour alterner cultures et plantes de couverture

L'espace disponible est cependant rarement suffisant pour permettre d'immobiliser la terre sans production vivrière pendant plus d'un an.

Une pratique intermédiaire, très intéressante sur les sols pauvres, est de cultiver une culture de cycle très long comme le manioc (12 à 24 mois selon les régions) en association avec une plante de couverture qui dispose ainsi d'une période suffisante pour se développer fortement, sans immobiliser la terre.



Exemple de système intermédiaire permettant une forte production de biomasse sans immobiliser la terre



La production d'une culture alimentaire et/ou commerciale chaque année est toutefois très souvent nécessaire. La production supplémentaire de biomasse doit alors se faire par successions intra-annuelles si le climat le permet et/ou associations de cultures.

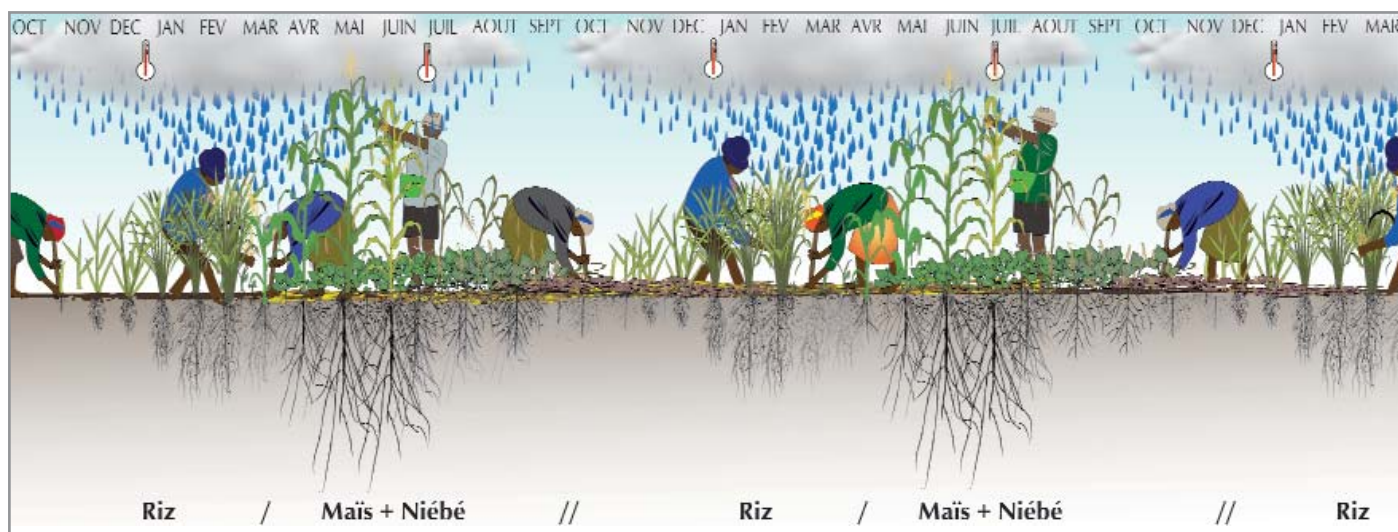
Association manioc + stylosanthes
Lac Alaotra

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Plus la saison chaude et humide est longue et plus les pluies sont importantes (ou plus les plantes peuvent être alimentées en eau par le sol en saison sèche), plus il est facile de gérer successions et/ou associations et de produire une forte biomasse. Il faut cependant dans ces cas produire une très forte biomasse, sur des périodes aussi continues que possible (et en particulier en saison sèche avec des couvertures utilisant l'eau profonde) pour compenser la forte minéralisation.

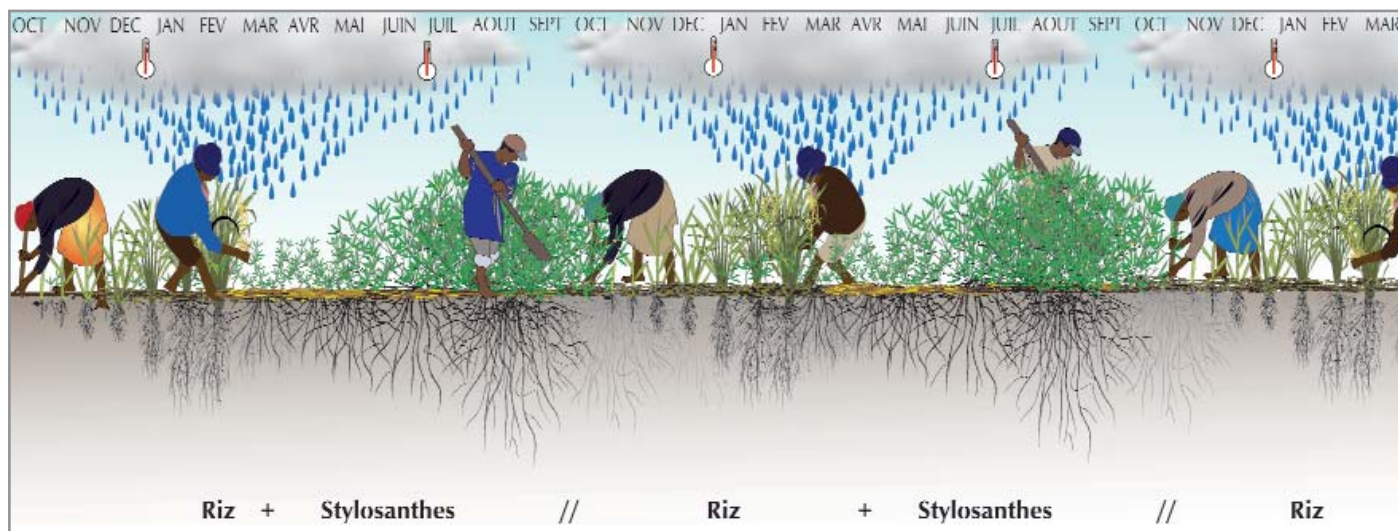
On peut pour cela :

- faire se succéder dans la même année plusieurs plantes annuelles, en choisissant des cycles qui permettent de couvrir au mieux les sols toute l'année et de recycler autant que possible les éléments nutritifs ("pompes biologiques" en succession des cultures). On peut ainsi cultiver jusqu'à trois cycles de cultures/plantes de couverture par an ;



Exemple de succession intra-annuelle et association de cultures en climat tropical humide

- associer une culture annuelle avec des plantes de couverture vivaces, qui produiront toute l'année (et que l'on pourra garder vivante ou contrôler pour la mise en place de la culture suivante) ;

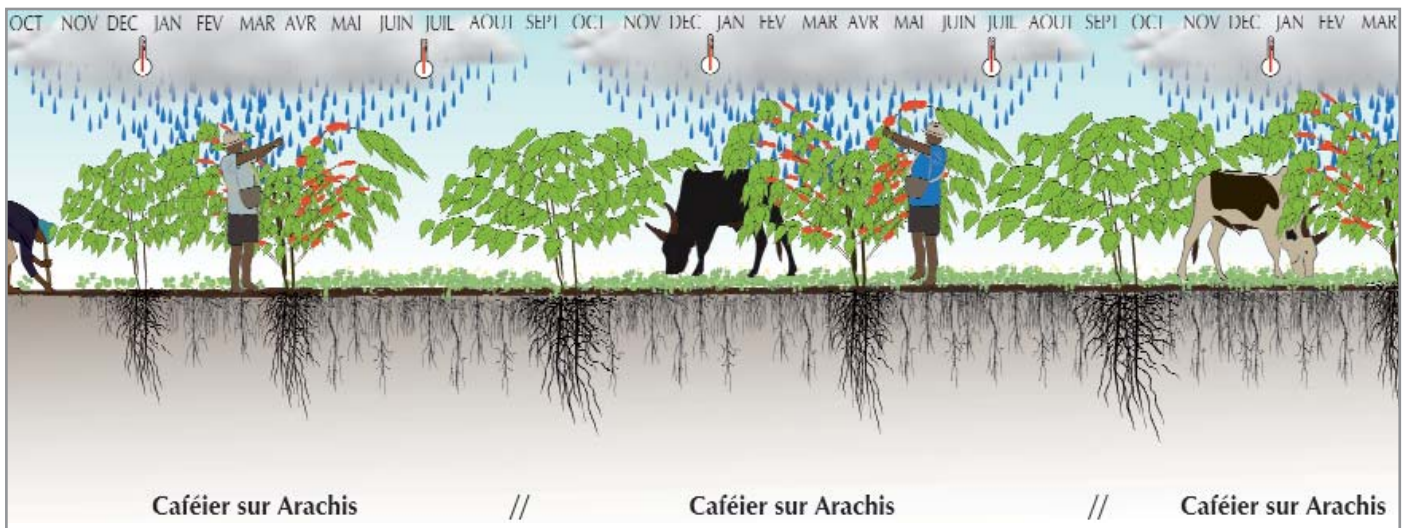


Exemple d'association entre culture et plante de couverture vivace en climat tropical humide

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

ou

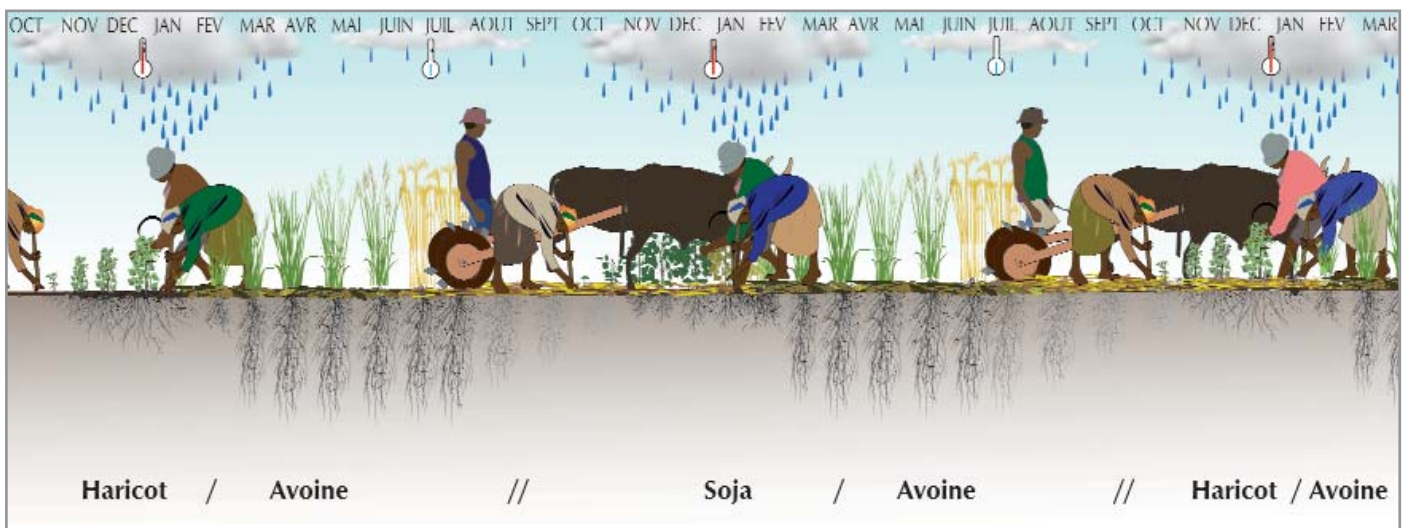
- cultiver des plantes pérennes associées à des couvertures vivaces, comme le caféier sur une couverture d'*Arachis pintoï*.



Exemple de production de plante pérenne sur couverture végétale vive en climat tropical humide

Avec une saison des pluies plus courte et/ou une saison froide, la minéralisation est plus lente mais la période de production de biomasse possible est plus courte. Les successions ne peuvent se faire qu'avec :

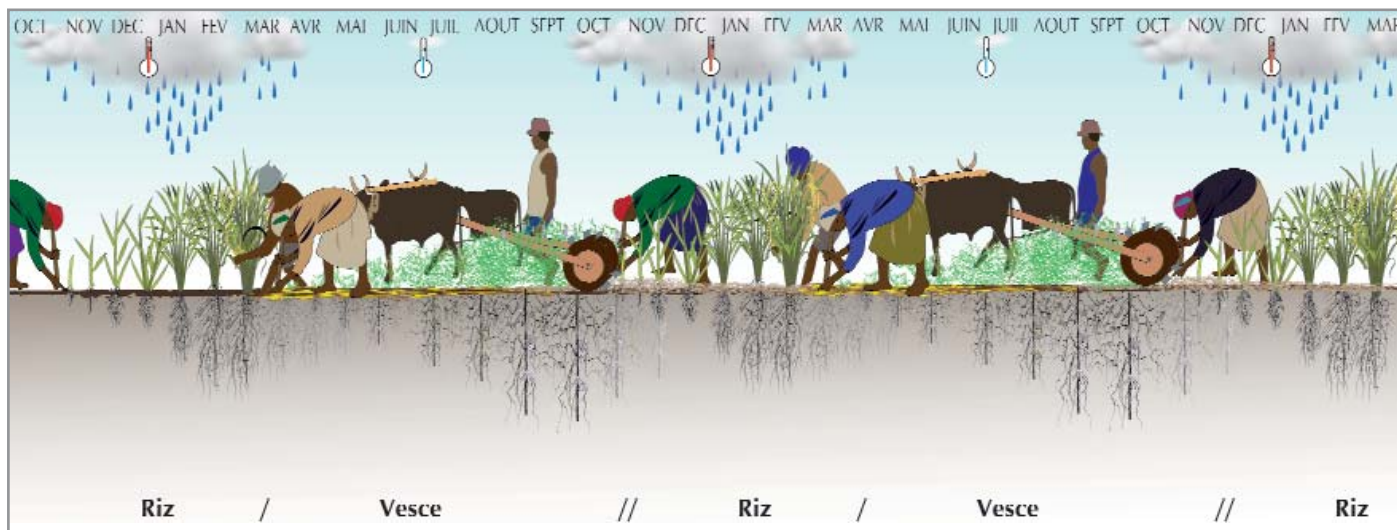
- une culture de cycle court, comme le haricot (suivi d'une avoine par exemple);



Exemple de successions intra-annuelles de cultures à cycle très court

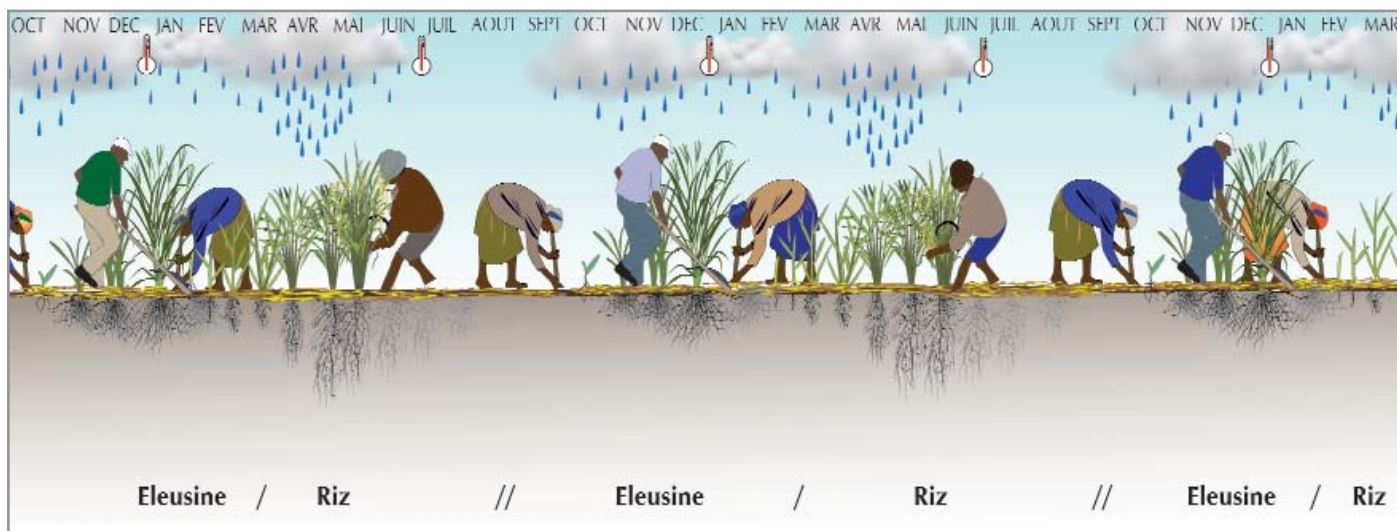
- une plante de couverture de cycle long, implantée après une culture et capable de supporter la saison sèche et/ou froide pour se développer rapidement dès les premières pluies/chaleurs, comme la vesce sur les hautes terres ou au lac Alaotra;

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct



Exemple de succession intra-annuelle culture/plante de couverture de cycle long (production en période marginale)

- une plante de couverture capable de produire très rapidement une forte biomasse, comme l'éleusine, le mil, le sorgho ou les brachiarias (ou un mélange de ces espèces), installés en début de saison des pluies ou durant la petite saison des pluies dans un climat de type bimodal (la petite saison des pluies étant trop courte pour permettre le cycle complet d'une culture).



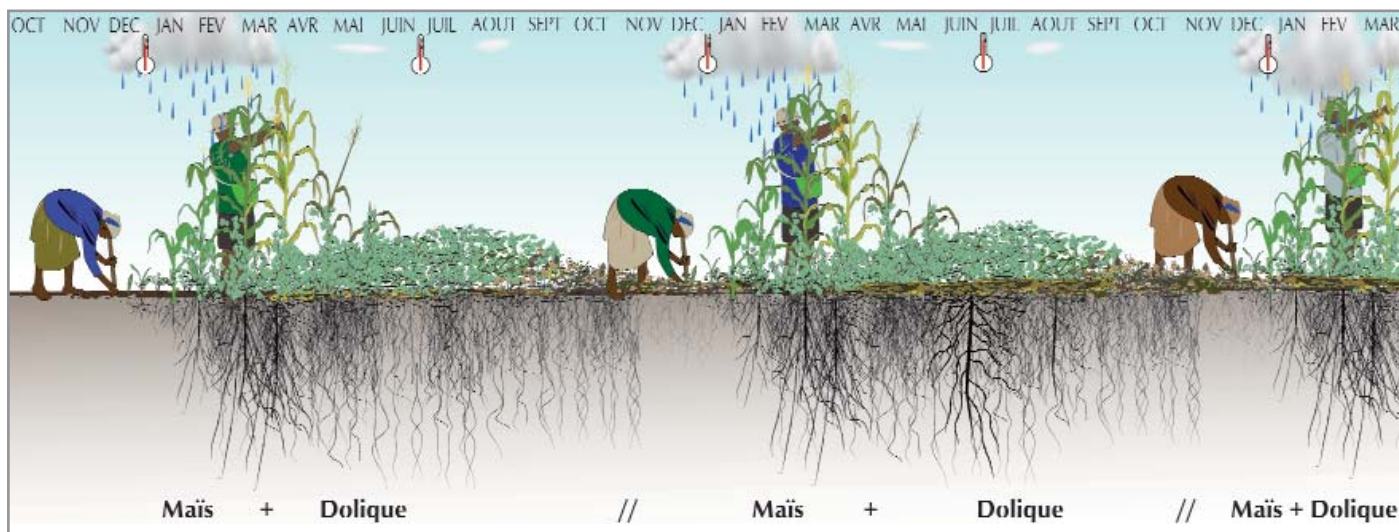
Exemple de succession intra-annuelle plante de couverture à croissance rapide / culture

Quand la saison des pluies est trop courte pour faire ces successions, même avec des cycles très courts (sauf dans des conditions de milieu particulières, avec un régime hydrique plus favorable : parties basses des toposéquences, irrigation), il faut alors, pour maximiser la production de biomasse, avoir recours à des plantes capables de produire en périodes marginales :

- des plantes installées en saison des pluies en association avec la culture, et qui prolongent leur croissance au maximum durant la saison sèche, en puisant dans l'eau profonde du sol. Pour s'implanter correctement avant l'arrivée de la saison sèche et être capable de s'y développer, la plante associée doit être semée suffisamment tôt. Elle risque cependant d'entrer en compétition avec la culture (d'autant plus que l'eau est un facteur très limitant) et doit être gérée par une densité adaptée, un bon agencement dans l'espace, l'apport localisé d'engrais et/ou l'utilisation de plantes de couverture au système racinaire différent des

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

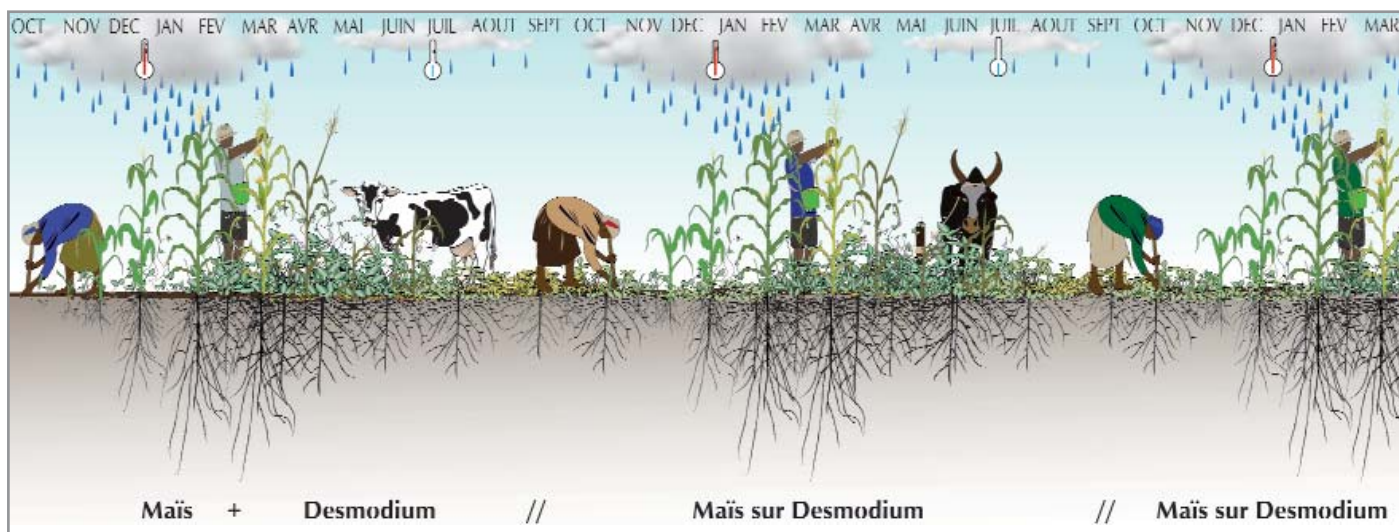
cultures. Plus la saison des pluies est courte et le montant des précipitations faible, plus ces associations sont difficiles à gérer et demandent le respect d'un itinéraire technique précis;



Exemple d'association culture + plante de couverture à cycle long (production en période marginale)

ou

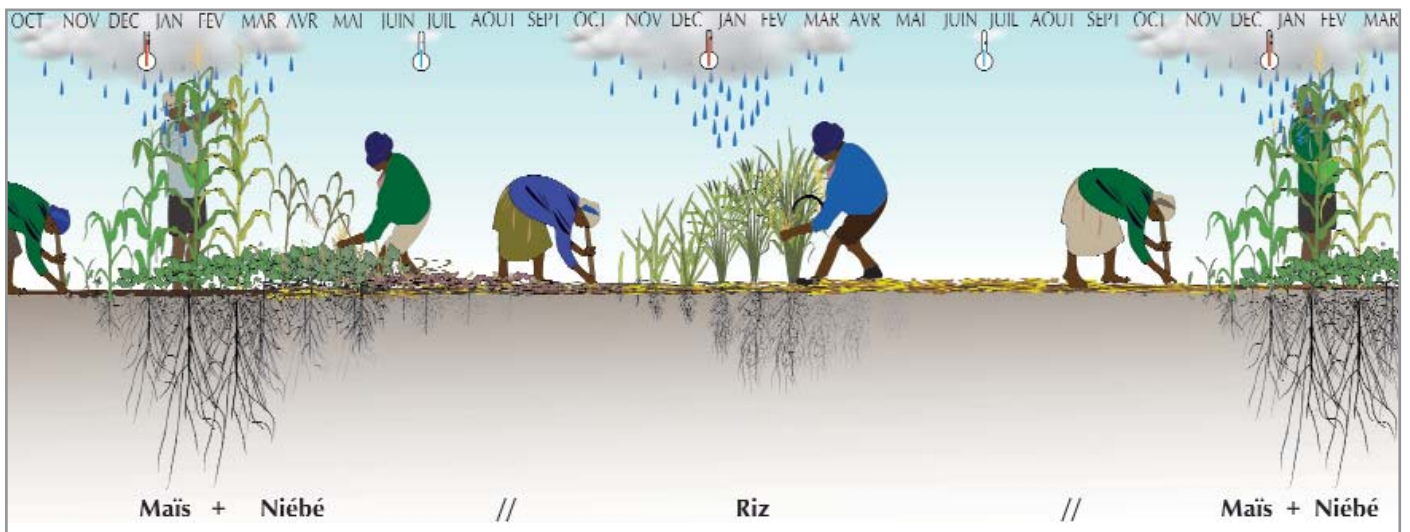
- des plantes de couverture vivaces utilisées en couverture vivante (desmodium, kikuyu, etc.).



Exemple de système sur couverture végétale vive

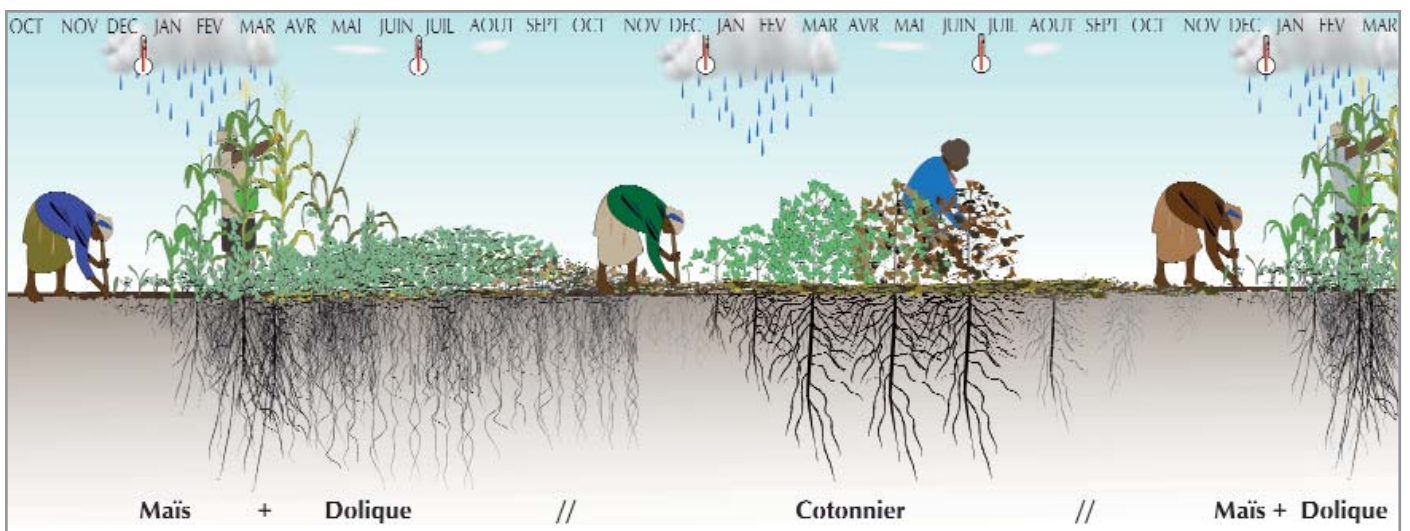
Lorsqu'il est difficile de conduire successions intra-annuelles ou associations de cultures avec une culture de cycle long et/ou laissant peu pénétrer la lumière, les successions inter-annuelles de cultures prennent une importance capitale. Elles permettent d'assurer dans le temps la diversité des plantes cultivées sur une parcelle, de produire une biomasse suffisante et d'éviter d'épuiser les sols en ne cultivant que des espèces ayant des besoins semblables. On cherchera à maximiser la production de biomasse la première année pour "amorcer la pompe" du semis direct, comme dans le système maïs + niébé (ou dolique ou *Vigna umbellata*)//riz très intéressant au lac Alaotra (moyenne altitude et saison sèche marquée).

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct



Exemple d'associations et successions inter-annuelles (climat à longue saison sèche ou froide)

Dans les climats semi-arides, où la production totale de biomasse et la minéralisation sont limitées par l'eau, on cherchera à assurer au moins une année sur deux la production d'une forte biomasse, qui couvrira les besoins de deux années (comme l'association maïs + dolique en précédent du cotonnier).



Exemple de système à très forte production de biomasse une année sur deux (climat semi-aride)

Dans tous les cas, les associations et successions de cultures seront choisies pour minimiser la période sans production de biomasse et assurer une bonne couverture du sol en permanence (et en particulier juste avant le semis de la culture principale). Les systèmes se raisonnent donc sur plusieurs années et la mise en place d'une plante de couverture se fait plusieurs mois avant la culture, ce qui nécessite une bonne planification.

Gestion des associations et successions de cultures

La gestion des associations et successions de cultures se fait en assurant la production de la culture principale, tout en ajustant en parallèle les plantes associées (choix des associations et successions, cf. Volume II. Chapitre 1.) et les paramètres de leur implantation (itinéraires techniques cf. Volume II. Chapitre 2.) pour maximiser leur production sans nuire à la culture. Outre les possibilités de "jouer" sur les variétés (les caractéristiques d'une espèce peuvent varier très fortement d'une variété à l'autre, en particulier en ce qui concerne leur cycle), l'iti-

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct



Association riz + niébé
Riz semé en double rangs sur écobuage
Niébé semé un mois après le riz

néraire technique permet de contrôler la compétition éventuelle des plantes de couverture sur les cultures. On peut ainsi adapter les dates de semis, la densité et l'agencement des plantes dans l'espace, et/ou le mode et la profondeur du semis, apporter une fertilisation localisée ou encore contrôler les plantes de couverture par fauche, application d'herbicide sélectif voire même application d'urée ou irrigation.

Le choix des systèmes, et l'ajustement des itinéraires techniques qui permettent de gérer des associations de cultures/plantes de couverture, sont donc avant tout une question de connaissance et de maîtrise du matériel végétal adapté, et de bon sens.

Mélanges d'espèces de plantes de couverture

Le mélange d'espèces pour réaliser la couverture végétale est très intéressant. La biodiversité accrue dans les systèmes permet de bénéficier simultanément de nombreuses fonctions et de services écosystémiques divers rendus par ces plantes. En fonction des contraintes majeures à lever en priorité, on peut ainsi mélanger :

SCV et plantes "souterraines"

La conduite des systèmes en SCV n'exclut pas la culture de plantes "souterraines" comme les tubercules (pomme de terre, patate douce, etc.), racines tubérisées (manioc, etc.) ou les légumineuses à graines enterrées (arachide, pois de terre, etc.), qui jouent souvent un rôle important en petite agriculture familiale.

D'une part, la bonne structure du sol en SCV fait que le recours au billonnage ou au buttage des racines et tubercules n'est pas nécessaire. Il doit au contraire être évité pour laisser le sol à plat et permettre le semis direct par la suite. D'autre part, le paillage n'est en aucun cas une gêne à la pénétration des gynophores des légumineuses.

De plus, les racines tubérisées, les tubercules ou les graines de ces plantes conduites sous couvert végétal se développent majoritairement en surface, juste sous le paillage, ce qui fait que leur récolte perturbe relativement peu le sol (et est beaucoup plus rapide qu'en système conventionnel).

Toutefois, ces cultures produisant peu de biomasse, il faut de préférence les associer (manioc + stylosanthes ou pomme de terre + avoine par exemple) ou les conduire sur couverture vive (comme l'arachide ou le pois de terre sur cynodon vif), ce qui permet à la couverture végétale de recouvrir rapidement les zones perturbées par la récolte. Si ces cultures ne sont pas associées, il est nécessaire de reconstituer la couverture végétale rapidement, en installant un système à très forte production de biomasse.

De tels mélanges permettent également l'obtention d'une biomasse de qualité très variée, à vitesse de décomposition différenciée. La minéralisation de cette phytomasse conduit à une

De tels mélanges permettent également l'obtention d'une biomasse de qualité très variée, à vitesse de décomposition différenciée. La minéralisation de cette phytomasse conduit à une

- des plantes à système racinaire pivotant (cajanus, crotalaire, etc.) avec des plantes à système racinaire fasciculé et puissant (brachiaria, éleusine) pour reconstruire rapidement macro-porosité et micro-porosité du sol;
- des légumineuses pour la fixation d'azote;
- des plantes de type C4 pour la forte production de biomasse;
- des plantes à forte capacité de recyclage des éléments nutritifs lixiviés en profondeur (développement rapide et en profondeur du système racinaire) comme l'éleusine, le mil, le sorgho, les brachiarias;
- des plantes capables de solubiliser (en interaction avec la microflore) des éléments nutritifs peu disponibles (lupin, stylosanthes, amarantes, etc.);
- des plantes à effets allélopathiques puissants (avoine, sorgho, etc.) pour le contrôle des adventices;
- des plantes répulsives ou à effets insecticides (radis fourrager, vesce, desmodium, plantes aromatiques diverses, etc.) pour le contrôle des insectes nuisibles;
- des plantes attractives d'entomopathogènes (champignons, nématodes, etc) ou de prédateurs des bioagresseurs (vesce, etc.); et/ou
- toute plante capable de remplir une fonction ou de rendre un service écosystémique particulier, la plupart du temps en favorisant le développement de micro-organismes spécifiques: détoxification du sol contre des polluants avec le sorgho, complexation de l'aluminium toxique avec les brachiarias, suppression de maladies fongiques avec le mélange éleusine + crotalaire sur la pyriculariose du riz, ainsi que de très nombreuses autres fonctions encore à découvrir.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

libération régulière et continue d'éléments nutritifs pour les cultures suivantes.

La composition de ces mélanges vise à utiliser la complémentarité écosystémique de ces plantes, pour assurer les différentes fonctions agronomiques fondamentales et lever en priorité les facteurs de blocage principaux.

Cette composition doit également permettre une gestion facile de la couverture et une rentabilité économique maximale. Pour cela, le mélange de plantes de couverture doit pouvoir être associé à la culture principale sans lui nuire. Pour l'implantation de la couverture en succession d'une culture principale, il est très intéressant d'intégrer une culture d'intérêt commercial (maïs, sorgho, etc.) qui couvre les coûts d'implantation du couvert végétal et son contrôle avant semis de la culture principale.

L'implantation de ce mélange doit pouvoir se faire facilement. Les plantes à petites graines (éleusine, mil, stylosanthes, amarantes, etc.) sont très intéressantes en ce sens. Elles peuvent être semées à la volée et ne nécessitent que quelques kilogrammes de semences par hectare. Elles peuvent être produites sur une faible surface (l'utilisation de mélanges ne permettant pas de récolter les graines dans la couverture et nécessitant la production de graines séparément). Les cycles des différentes espèces mélangées doivent être compatibles, en particulier pour les mélanges d'espèces annuelles contrôlées par fauche ou roulage après floraison. Elles doivent toutes pouvoir être gérées de la même manière (que ce soit chimiquement ou mécaniquement), et contrôlées en même temps pour faciliter leur utilisation et réduire les coûts.

Mélanges de variétés

Le mélange de variétés d'une espèce cultivée permet de réduire les risques et d'obtenir une production plus stable et plus élevée (les variétés les plus adaptées aux conditions climatiques de l'année de culture permettant d'assurer la production). Il permet aussi de réduire l'incidence des maladies en intégrant des variétés résistantes, qui assurent la production en cas de forte pression parasitaire, et limitent la transmission aux variétés moins résistantes (barrière physique au transport des organismes pathogènes).

Le choix des variétés se fait de manière à introduire :

- des variétés résistantes aux principales maladies (chaque variété doit être résistante à plusieurs maladies, pas forcément les mêmes d'une variété à l'autre) qui peuvent avoir une incidence forte dans la zone de culture ; et
- des variétés à fort potentiel dans les conditions de culture (niveau de fertilité, régime hydrique, etc.).

Quand la récolte est mécanisée, les différentes variétés mélangées doivent impérativement avoir un cycle de production assez semblable pour que la récolte puisse se faire à un degré de maturité uniforme. Dans des petites parcelles récoltées manuellement, l'utilisation de variétés avec des cycles différents (comme le décalage du semis) per-

Remplacer les plants manquants

Il est important de remplacer systématiquement les plants manquants (dûs par exemple à une mauvaise germination, un accident climatique, des attaques d'insectes, etc.) afin de :

- maximiser la production de biomasse et couvrir le sol ;
- ne pas laisser la place libre pour les adventices qui pourraient alors se multiplier et infester les parcelles.

Ce remplacement est d'autant plus nécessaire quand des "trous" importants se sont formés dans la végétation du fait d'un grand nombre de pieds manquants. Il peut se faire avec la même espèce, si cela est encore possible, ou avec une autre espèce (mieux adaptée à la nouvelle période de production).



Mélange avoine + lupin + vesce + radis fourrager

Utiliser les bonnes variétés

Les caractéristiques et les performances (en particulier la production de biomasse) d'une même espèce peuvent varier très fortement :

- d'une variété à une autre ;
- en fonction du système de culture.

Il est donc indispensable de choisir avec précaution non seulement les espèces mais aussi les variétés à utiliser lorsqu'on décide d'installer des systèmes en SCV.

Le travail de création de systèmes SCV doit s'accompagner de la sélection des variétés les plus performantes dans ces systèmes.

Par la suite, la diffusion des systèmes SCV exige la mise à disposition des variétés les plus performantes au niveau des terroirs et des exploitations.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

met de réduire le risque climatique. Elle évite qu'un accident (cyclone, vent violent, sécheresse, grêle, etc.) se produise à un stade sensible (comme la floraison) pour toutes les variétés. En revanche, une telle pratique augmente considérablement le temps de récolte qui doit se faire en plusieurs passages.

Fertilité et production de biomasse



*Maïs + niébé sur sol pauvre
Effet marqué de la fertilisation (à droite)
sur la production. Lac Alaotra*

La fertilité influence directement la production de biomasse, qui conditionne les effets bénéfiques des SCV. Malheureusement, dans de très nombreuses situations, la fertilité initiale est très basse.

Une des principales difficultés du passage de systèmes conventionnels aux systèmes SCV est d'arriver à obtenir une forte production de biomasse les premières années, en partant d'une faible fertilité. Une fois obtenue, cette forte phytomasse restituée au sol permet d'en accroître le niveau de fertilité, et sert à alimenter les plantes des cycles suivants.

De nombreuses plantes de couverture utilisées en SCV ont été sélectionnées pour leur aptitude à produire en condition de faible fertilité. Cependant, plus la fertilité initiale est basse (et plus le climat est contraignant), plus le temps nécessaire à ces plantes pour produire une biomasse suffisante est long. Un apport de fertilisation (fumure minérale ou organique, écobuage) réduit considérablement le temps d'obtention d'une biomasse importante, permettant une installation rapide des systèmes SCV.

Gain de production de biomasse par rapport aux systèmes conventionnels

Le climat et la fertilité des sols déterminent largement le potentiel de production de biomasse des systèmes.



*"Habillage" des systèmes paysans
Installation d'avoine en relais du maïs
Hautes terres malgaches*

Le gain potentiel de production de biomasse des systèmes SCV par rapport aux systèmes traditionnels dépend de ces facteurs, mais aussi très largement de la pression sur la terre (et donc de l'intensité des cultures). Dans des milieux à faible utilisation des sols (faible densité de population), des systèmes basés sur des successions de cultures, voire même des rotations alternant cultures et plantes de couverture amélioratrices des sols sont possibles, et le gain de biomasse par rapport au système traditionnel est très élevé. A l'inverse, pour les milieux à très forte intensité d'utilisation des sols (avec deux ou trois cultures par an), seules les associations de plantes de couverture dans les cultures (en successions intra-annuelles) sont possibles pour augmenter la production de biomasse (puisque toute la période de production possible est déjà utilisée). Elles exigent cependant le respect d'un itinéraire technique précis (en particulier les dates de semis) et ne permettent qu'une production supplémentaire limitée, qui doit être bien gérée pour éviter sa surexploitation (divagation des animaux).

La gestion de ces biomasses peut cependant être largement améliorée en SCV par rapport aux systèmes conventionnels qui, de manière générale, la restituent peu au sol, soit :

- parce qu'elle est utilisée à une autre fin (alimentation animale, bois de chauffage, matériaux de construction), utilisation que les systèmes SCV à proposer en remplacement doivent prendre en compte ; soit
- parce qu'elle est une gêne pour leurs pratiques (difficultés à labourer, décomposition très lente des pailles quand elles sont enfouies en profondeur, peur de transmission de maladies, etc.). La paille est alors souvent brûlée. Ces situations offrent la possibilité d'augmenter facilement la quantité de biomasse restituée au sol, en en modifiant simplement la gestion pour des systèmes SCV.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

1.2. Gestion de la biomasse en SCV

Le climat et le sol déterminent largement les besoins en biomasse pour approvisionner convenablement les systèmes en semis direct, en influençant le coefficient de minéralisation de la matière organique (aussi influencé par le mode de gestion du sol) et le coefficient d'humification des couvertures végétales (qui dépend également du type de résidus).

Ainsi, en dessous d'un certain seuil de restitution de biomasse au sol, les systèmes ne permettent pas de maintenir le taux de matière organique du sol et sa fertilité (ou de les améliorer, quand on part de niveaux très bas). La faible production et/ou restitution de biomasse (aérienne et/ou racinaire) engendre aussi des contraintes qui peuvent conduire à une faible rentabilité, voire même une perte de rendement (mauvais contrôle des adventices par un paillage insuffisant, etc.).

A l'inverse, quand les restitutions sont supérieures à ce seuil, le sol s'enrichit progressivement, et ce d'autant plus vite que la quantité de biomasse restituée est élevée.

Dans la pratique, cela a quatre incidences majeures sur la gestion de la biomasse en SCV :

- dans les climats tempérés ou très secs, le potentiel de production de biomasse est limité (par les températures ou l'eau), mais les besoins en biomasse pour maintenir la matière organique du sol sont plus faibles que dans un climat chaud et humide, à forte minéralisation (et potentiel de production très élevé). De la même manière, il est plus difficile de produire de la biomasse en partant d'un sol dégradé, pauvre en matière organique, mais la biomasse à apporter pour améliorer ses caractéristiques est moins importante que sur un sol riche en matière organique, car les pertes par minéralisation y sont moindres ;
- en fonction du climat, du sol, de l'intensité d'utilisation des terres (et donc du potentiel de production de biomasse supplémentaire) et de la pression sur cette biomasse (besoins de fourrages, etc.) la mise en œuvre de systèmes SCV est plus ou moins difficile. Plus la pression est élevée et/ou plus le potentiel de production est faible, plus il est difficile de faire fonctionner les systèmes SCV dans de bonnes conditions et moins ils sont attractifs sans l'utilisation de fumures additionnelles minérales ou organiques, qui permettent de "booster" la production de biomasse. Cette fumure pourrait faire l'objet de subventions, pouvant être considérée comme un investissement dans le "capital sol" au même titre qu'un aménagement agricole. A l'inverse, quand la pression sur la biomasse est faible ou le potentiel de production élevé, ces systèmes sont simples à mettre en œuvre et particulièrement efficaces ;

Le modèle Hénin-Dupuis (1945)

Le modèle de Hénin-Dupuis est un modèle simple, à deux compartiments (humus stable et matière organique fraîche) de la dynamique de la matière organique, qui permet de prévoir son évolution dans le temps (dC/dt) qui est fonction :

- de la quantité de matière organique fraîche apportée (A) ;
- de son taux de transformation en humus stable (K_1 , coefficient d'humification qui dépend essentiellement du climat, de la qualité de la matière organique fraîche, et du sol) ;
- du stock initial de carbone dans le sol (C) ; et
- de son taux de minéralisation (K_2 , coefficient de minéralisation qui dépend avant tout du climat, du sol et de son mode de gestion).

Ainsi, la variation du taux de carbone (matière organique) dans le sol $dC/dt = K_1A - K_2C$ (les apports) - K_2C (les pertes par minéralisation).

Pour maintenir le taux de matière organique du sol (pas de variation donc $dC/dt=0$) les apports doivent permettre de couvrir les pertes ($K_1A=K_2C$). Ainsi, plus le stock de carbone initial du sol est élevé et plus la minéralisation est rapide (K_1 élevé des climats chauds et humide et/ou des systèmes avec travail du sol), plus la quantité de matière organique fraîche à apporter est élevée.

Si $K_1A < K_2C$, les apports ne permettent pas de compenser les pertes et le système "sol" perd de la matière organique et se dégrade. A l'inverse, si $K_1A > K_2C$, le système accumule de la matière organique, avec tous les effets bénéfiques qui y sont associés.

Principe de gestion de la biomasse

Le principe de gestion de la biomasse en SCV est simple : accumuler un maximum de biomasse (aérienne et racinaire) les premières années, pour remonter rapidement la fertilité des sols et assurer diverses fonctions.

Une fois que la fertilité (accumulée dans la biomasse et le sol) a atteint un niveau que l'on juge satisfaisant, on peut se satisfaire de ne restituer au sol qu'une biomasse suffisante pour compenser les pertes par minéralisation et assurer le contrôle des adventices. La biomasse produite (en quantité sur des sols redevenus fertiles) peut alors être en partie exportée pour l'alimentation des animaux ou la "recharge" en biomasse de nouvelles parcelles SCV.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Adaptation des systèmes au milieu et à la pression sur la terre et la biomasse

Type de milieu			Intensité de l'utilisation des sols et besoins en fourrages		
			Faibles	Moyens	Forts
Longueur de la saison de culture (Précipitations + régime hydrique) x Température	Longue (> 9 mois)	Sans saison froide Côte Est	Successions intra-annuelles et inter-annuelles (et associations) Facile à gérer	Successions intra-annuelles et inter-annuelles (et associations) Assez facile à gérer	Associations, successions intra-annuelles et inter-annuelles Assez difficile à gérer*
		Avec saison froide Hautes terres	Successions inter-annuelles, associations (et successions intra-annuelles) Assez facile à gérer	Associations, successions inter-annuelles (et intra-annuelles) Assez difficile à gérer*	Associations, successions inter-annuelles (et intra-annuelles) Difficile à gérer*
	Moyenne (5 à 9 mois)	Moyen-Ouest et Lac Alaotra	Successions inter-annuelles et associations Facile à gérer	Associations et successions inter-annuelles Assez facile à gérer	Associations et successions inter-annuelles Assez difficile à gérer*
	Courte (< 5 mois)	Sud-Ouest et Grand Sud	Successions inter-annuelles (et associations) Assez facile à gérer	Associations et successions inter-annuelles Assez difficile à gérer*	Associations et successions inter-annuelles Difficile à gérer*

* **“Assez difficile ou difficile à gérer”**: Leur mise en œuvre demande une bonne maîtrise technique. Les améliorations par les SCV sont lentes (d'autant plus que les sols sont dégradés). La diffusion des SCV dans ces conditions demande un accompagnement des paysans sur plusieurs années (temps d'apprentissage par les paysans et de “mise en route” des SCV), des mesures de protection de la biomasse (arrêt de la vaine pâture, clôtures, etc.) et la subvention éventuelle d'engrais pour réduire le temps d'entrée dans les systèmes SCV.



Forte biomasse racinaire des graminées

- dans tous les cas, et d'autant plus que la pression sur la biomasse est forte, pour “amorcer la pompe” des systèmes SCV il est nécessaire, les premières années, de produire une très forte biomasse et de la restituer autant que possible au sol. Les parcelles s'améliorent ainsi d'année en année. Une fois la fertilité restaurée, le gain de production de biomasse permet de ne restituer au sol que la quantité nécessaire au maintien (ou à l'amélioration lente) de la fertilité du sol, et d'exporter le supplément pour les animaux (ce qui peut représenter une quantité exportable supérieure à ce qui aurait été produit au total avant l'amélioration des sol);
- en cas de production de biomasse insuffisante les premières années (ou de fortes exportations pour les animaux, par un feu non maîtrisé, etc.), ne permettant pas de couvrir les pertes par minéralisation et d'augmenter le taux de matière organique du sol, il est nécessaire de “recharger” la parcelle en biomasse pour atteindre un seuil permettant

La biomasse racinaire

L'apport de biomasse par les racines est difficile à mesurer, d'autant plus que les contributions des très petites racines (qui se renouvellent rapidement) et des produits de la rhizodéposition sont importantes.

Dans tous les cas, la production de biomasse par les racines est considérable. Elle représente souvent plus de 50% de la production totale et peut dépasser 5 à 10 t/ha/an de matière sèche chez les graminées.

Cette biomasse racinaire est protégée dans le sol où elle est à l'abri du bétail (et est ainsi entièrement restituée au sol), et se minéralise lentement.

l'amélioration du sol. Si aucune biomasse végétale n'est disponible aux alentours de la parcelle, il est préférable de concentrer la biomasse disponible sur une partie seulement de la parcelle afin de permettre son amélioration, et de recommencer une année de préparation des SCV (avec travail du sol) sur la partie dont la biomasse aura été enlevée.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Les besoins en biomasse pour compenser les pertes

Pour un pilotage efficace de la fertilité des sols, il est utile d'estimer les besoins en biomasse à restituer pour compenser les pertes par minéralisation. Ces besoins sont fonction principalement :

- du climat qui détermine largement le coefficient de minéralisation K_2 ;
- du type de biomasse, à travers le coefficient d'humification K_1 ;
- du stock initial de matière organique du sol (C).

Si les apports de biomasse (aérienne + racinaire) se font avec un mélange de graminées et de légumineuses au ratio C/N moyen (et donc avec un coefficient d'humification moyen), et qu'on part d'une parcelle ayant un taux de matière organique "moyen" dans la zone considérée, on peut estimer que :

- sur les hautes terres malgaches, où les basses températures limitent la minéralisation, les besoins en biomasse pour compenser les pertes en carbone dans les sols (à 3 à 4% de matière organique) sont de 7 à 9 t/ha/an de matière sèche en semis direct sans travail du sol (alors qu'il en faut plus de 12 t/ha avec un travail du sol qui engendre des pertes plus importantes par minéralisation et érosion). Une restitution au sol au delà de 9 t/ha permet l'accumulation de carbone et l'amélioration des sols. A l'inverse, une restitution inférieure à 7-9 t/ha/an (en semis direct) ou 12 t/ha/an (avec travail du sol) conduit à une perte de matière organique du sol et ce d'autant plus vite que la quantité restituée est faible ;
- ce seuil moyen est assez proche dans les climats semi-arides du Sud et du Sud-Ouest où la minéralisation est limitée par la longue saison sèche et où le taux de matière organique du sol est assez bas (2 à 2,5%) ;
- il est en revanche supérieur à moyenne altitude comme au lac Alaotra (10-12 t/ha/an, sans perturbation du sol, avec 2 à 2,5% de matière organique au départ) et surtout dans le climat très chaud et humide du Sud-Est malgache où 13 à 17 t/ha/an de biomasse sont nécessaires pour maintenir le stock de carbone du sol, élevé au départ (4 à 5% de matière organique).

Si on part de sols très dégradés (moins de 1% de matière organique), les apports nécessaires pour maintenir leur niveau de matière organique sont beaucoup plus faibles (moins de 2 t/ha de matière sèche peuvent être suffisants à maintenir un niveau très bas de matière organique, dont la fraction stable domine). Il est cependant peu satisfaisant de se contenter de maintenir de tels niveaux de matière organique, qui ne permettent pas la production agricole. Les niveaux d'apports mentionnés ci-dessus sont alors intéressants pour accroître la fertilité de ces sols.

La gestion de la biomasse doit également se faire à l'échelle du terroir, en utilisant autant que possible les zones non cultivées (terres considérées incultes, bordures des parcelles, talus, etc.) pour augmenter la production totale de biomasse. L'amélioration des pâturages naturels permet également d'augmenter la production totale de biomasse au niveau d'un terroir.

Cette biomasse peut être utilisée pour "renforcer" les couvertures des parcelles qui en auraient besoin pour une bonne conduite en SCV, pour alimenter les animaux (réduisant ainsi la pression sur la biomasse des parcelles cultivées) ou encore pour servir de combustible pour un éventuel écobuage.

Quand, à l'inverse, la production de biomasse est très importante, elle peut gêner la mise en place des cultures (comme dans des biomasses de brachiaria de plus de 15-20 t/ha), en particulier dans des systèmes mécanisés. Il s'agit alors de la gérer afin de rendre le semis plus facile. On peut en particulier la faucher et l'exporter pour les animaux, voire même la brûler dans les situations extrêmes (le feu ne détruisant totalement que les organes les plus tendres à C/N bas comme les feuilles, mais épargnant en grande partie les tiges plus ou moins lignifiées à C/N élevé, c'est à dire la matière sèche dominante qui va participer à la formation de l'humus).

Les besoins en biomasse pour augmenter la matière organique du sol

Un différentiel "apports de biomasse - pertes par minéralisation" de 1 t/ha de matière sèche (soit 450 kg de C) permet de gagner moins de 100 kg/ha de carbone dans le sol (pour un coefficient d'humification assez élevé de 0,22).

Pour augmenter le taux de matière organique du sol de 1% sur les 20 premiers centimètres de sol (qui représentent environ 2000 tonnes de terre par hectare), il faut apporter 20 t/ha de matière organique au sol, soit 11,6 t/ha de carbone (1 kg de carbone équivaut à environ 1,72 kg de matière organique), ce qui correspond à un apport de plus de 50 à 100 t/ha de carbone dans la biomasse (pour respectivement un coefficient d'humification élevé de 0,22 ou faible de 0,11) soit plus de 100 à 200 t/ha de matière sèche (en plus de ce qu'il faut pour compenser les pertes par minéralisation).

Des systèmes SCV relativement performants qui sequestrent plus d'une tonne de carbone/ha/an effectuent ce travail en une dizaine d'année (4 à 5 ans pour les systèmes les plus performants, avec très forte production de biomasse).

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

2. Gestion de la fertilité en SCV

2.1. Restaurer la fertilité

Dans le mode de fonctionnement du sol en semis direct sur couverture végétale permanente, les éléments nutritifs sont concentrés dans la biomasse/litière/horizon superficiel, stockés sous forme organique et libérés régulièrement par la minéralisation dans un sol vivant. Gestion de la fertilité et gestion de la biomasse vont de pair.

Lors des premières années de transition des techniques traditionnelles vers le semis direct, il est nécessaire de restaurer aussi vite que possible la fertilité du sol, et de produire la biomasse qui constituera la litière et enrichira le sol en matière organique.

La restauration de la fertilité peut se faire par :

- mobilisation des éléments fertiles présents dans le sol (ou l'air) mais peu accessibles naturellement aux cultures ;
- apports d'éléments fertilisants à la parcelle.

La mobilisation des éléments fertiles du sol (en liaison avec l'activité biologique) peut se faire :

Utilisation des "pompes biologiques"

L'utilisation des "pompes biologiques" est un moyen efficace et très peu coûteux pour rétablir la fertilité d'un sol. Par leur aptitude à extraire les éléments nutritifs du sol peu disponibles et/ou recycler ceux lixiviés en profondeur, ces plantes sont capables de produire une forte biomasse même sur des sols impropres à de nombreuses cultures. Une fois extraits du sol et concentrés dans la biomasse, ces éléments sont minéralisés et deviennent utilisables par les cultures.

La gestion de la fertilité ainsi récupérée est cependant fondamentale. Si la biomasse produite n'est pas restituée au sol ou si les exportations par les cultures (et les fourrages) ne sont pas compensées par des apports d'engrais (organiques ou minéraux), la fertilité du système ne peut pas être maintenue. Une telle utilisation "minière" des "pompes biologiques" a des conséquences catastrophiques. Elle conduit à un épuisement total des sols dont le niveau de fertilité tombe si bas que même les "pompes biologiques" ne pourront plus être utilisées. Ce risque est particulièrement important dans les zones d'élevage laitier où ces plantes, qui sont aussi d'excellents fourrages, sont souvent perçues avant tout comme une possibilité d'augmenter la production fourragère à moindre coût. Les effets à moyen terme d'une telle pratique de surexploitation doivent absolument être bien assimilés pour permettre une bonne gestion de la fertilité dans ces situations.

- rapidement, par une oxydation forte lors d'un écobuage qui consiste en une combustion lente, à basse température, d'une partie de la matière organique du sol (matière organique très acide et peu active, qui immobilise les éléments minéraux) ;

- progressivement, par l'utilisation de "pompes biologiques", c'est à dire de plantes capables :

- de s'enraciner profondément et de recycler les éléments nutritifs lixiviés hors d'atteinte des racines des cultures ;
- de mobiliser des éléments nutritifs fixés dans le sol sous forme peu soluble (en interaction avec la microflore) ;
- de fixer l'azote atmosphérique en symbiose avec des bactéries associées dans les nodosités (légumineuses) ou libres (comme pour l'éleusine). L'utilisation de légumineuses dans les systèmes de culture est fondamentale les premières années, quand le niveau de matière organique est encore bas et l'activité biologique faible. L'alimentation des cultures dépend alors largement de la fixation d'azote par ces plantes, qui ont aussi l'intérêt de favoriser l'activité biologique (les mycorhizes et particulier, qui augmentent les capacités d'absorption par les plantes).

L'utilisation de "pompes biologiques" se réalise à très faible coût/travail mais nécessite du temps. A l'inverse, l'écobuage a un effet marqué immédiat mais nécessite un travail important et la disponibilité d'une importante biomasse pour la combustion. Il doit être valorisé par des cultures à forte valeur ajoutée (comme la pomme de terre).

Les apports à la parcelle d'éléments fertilisants peuvent se faire :

- sous forme organique : transport de biomasse prélevée hors de la parcelle ou apport de fumier/lisier, généralement à faible coût, mais pouvant faire face à des problèmes de disponibilité ;
- sous forme d'engrais minéraux (et d'oligo-éléments si nécessaire), avec un effet immédiat très net mais à un coût important, et donc avec un risque à prendre en considération.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Ces différentes méthodes pour restaurer la fertilité peuvent/doivent être combinées en fonction des moyens disponibles (capacité d'investissement en capital et travail, possibilité d'immobiliser la terre sans production alimentaire, etc.), des risques supportables, des cultures à mettre en place et de la fertilité initiale du sol.

Une faible pression foncière offre aux "pompes biologiques" le temps nécessaire pour une forte production de biomasse et simplifie fortement la diffusion des SCV. A l'inverse, une forte pression sur la terre ne permet pas d'immobiliser des parcelles pour leur régénération. Dans ce cas :

- les "pompes biologiques" doivent être associées à des cultures peu exigeantes pour permettre une régénération progressive de la fertilité, ce qui demande une gestion fine des systèmes ; ou
- la fertilité doit être rapidement remontée par des apports d'engrais et/ou un écobuage, avec les risques que comporte un tel investissement.

Restauration de la fertilité en fonction de l'état de dégradation des sols et des moyens disponibles

Moyens disponibles		Etat de dégradation du sol		
		Peu dégradé, assez fertile	Dégradé	Très dégradé
Espace / temps disponibles (faible pression sur la terre)	Investissements à risque possibles	Apports d'engrais "Pompes biologiques" (Ecobuage) Toutes cultures Très facile à gérer	"Pompes biologiques" Apports d'engrais Ecobuage Toutes cultures Facile à gérer	"Pompes biologiques" (Apports d'engrais) Mise en culture après plusieurs années Assez difficile à gérer*
	Investissements sans risque possibles	Apports d'engrais "Pompes biologiques" (Ecobuage) Toutes cultures Très facile à gérer	"Pompes biologiques" Ecobuage (Apports d'engrais) Toutes cultures Facile à gérer	"Pompes biologiques" Mise en culture après de nombreuses années Difficile à gérer*
	Investissement en travail possible	"Pompes biologiques" Ecobuage Toutes cultures Facile à gérer	Ecobuage "Pompes biologiques" Toutes cultures Assez facile à gérer	
	Investissements impossibles	"Pompes biologiques" Toutes cultures Facile à gérer	"Pompes biologiques" Cultures peu exigeantes Assez facile à gérer	
Espace / temps non disponi- bles (forte pression sur la terre)	Investissements à risque possibles	Apports d'engrais Ecobuage "Pompes biologiques" Toutes cultures Très facile à gérer	Apports d'engrais Ecobuage "Pompes biologiques" Toutes cultures Assez facile à gérer	"Pompes biologiques" Cultures peu exigeantes Non rentable à court terme Très difficile à gérer*
	Investissements sans risque possibles	Apports d'engrais Ecobuage "Pompes biologiques" Toutes cultures Facile à gérer	Ecobuage "Pompes biologiques" (Apports d'engrais) Toutes cultures Assez difficile à gérer*	Non rentable à court terme Investissement à long terme Aménagement de protection des zones en aval
	Investissement en travail possible	Ecobuage "Pompes biologiques" Toutes cultures Assez facile à gérer	Ecobuage "Pompes biologiques" Toutes cultures Assez difficile à gérer*	
	Investissements impossibles	"Pompes biologiques" Toutes cultures Assez facile à gérer	"Pompes biologiques" Cultures peu exigeantes Difficile à gérer*	Impossible sans subvention

* "Assez difficile, difficile ou très difficile à gérer" sans apport de fumure de correction conséquente au départ. Adoption des SCV difficile sans engrais subventionnés la première année.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Dans tous les cas, l'investissement consenti dans la restauration de la fertilité du sol doit permettre de garantir une forte production de biomasse, pour préparer le semis direct les années suivantes. Il faut pour cela que les cultures et plantes de couverture associées soient adaptées au niveau de fertilité du sol (niveau de fertilité initial compensé par les apports). Sur un sol très fortement dégradé, la fertilisation des "pompes biologiques" peut être nécessaire. Sur un sol moyennement dégradé, la culture d'une plante exigeante (comme le riz ou le maïs) ne doit se faire qu'après restauration par d'autres plantes ou avec des apports fertilisants importants (et donc coûteux et risqués). Un apport de fertilisation minérale (y compris les oligo-éléments) insuffisant, ne permettant qu'une remontée partielle de la fertilité pour la culture d'une plante exigeante peut avoir des conséquences désastreuses pour un exploitant. Les coûts

Rentabilité de l'investissement

La rentabilité à court terme des pratiques SCV dépend largement du niveau de dégradation du sol. Des sols peu ou pas dégradés permettent une forte production de biomasse avec peu d'intrants et valorisent rapidement un éventuel investissement dans la fertilisation, avec des cultures exigeantes mais à forte valeur. La transition du traditionnel vers le semis direct y est rapide et aisée. À l'inverse, des sols dégradés nécessitent un investissement plus important dans la fertilité, avec une rentabilité plus aléatoire (et donc un risque beaucoup plus important). Au delà d'un certain seuil de dégradation du sol, la restauration de la fertilité nécessite du temps et des investissements très importants qui ne peuvent être rentabilisés à court terme. L'investissement dans la fertilité de ces sols doit être considéré (et géré) comme un investissement à long terme dans un aménagement qui permet, par la suite, d'entretenir une production durable. L'adoption des pratiques SCV dans ces conditions est nettement plus compliquée et dépendante de la maîtrise de facteurs de productions à une échelle supérieure à la parcelle. Il est beaucoup plus simple de réaliser la transition vers les SCV avant que ce seuil de dégradation ne soit atteint.

importants risquent de ne pas être rentabilisés à court terme par la culture, et la production de biomasse risque d'être insuffisante pour une conduite aisée en SCV l'année suivante (ne permettant pas une rentabilisation à moyen terme de l'investissement). Sur des sols moyennement ou peu fertiles, la culture de plantes exigeantes impose donc un niveau de fertilisation important la première année. En revanche, une fois le semis direct fonctionnant correctement, sur une forte biomasse, les apports de fertilisation peuvent être réduits. Sur un plan agronomique (et économique à moyen terme), la meilleure solution consiste à concentrer les apports de fertilisants la première année, de produire une forte biomasse, puis de réduire la fertilisation les années suivantes. Cette pratique est beaucoup plus performante que l'apport d'une fertilisation moyenne plusieurs années de suite, qui ne permet pas l'obtention de la biomasse "critique" pour une entrée rapide dans des systèmes SCV fonctionnant convenablement. Il est donc préférable d'apporter par exemple 300 kg/ha de NPK la première année puis 100 kg/ha les 3 années suivantes plutôt que 150 kg/ha quatre années de suite. Si les moyens disponibles ne permettent pas cet investissement de départ nécessaire sur des sols dégradés, il est préférable de cultiver des plantes moins exigeantes (haricot, avec éventuellement une fertilisation faible, pois de terre ou manioc), associées à des "pompes biologiques" qui produiront une forte biomasse. On prépare ainsi les parcelles pour un semis direct dans de bonnes conditions, rendant possible la culture de plantes exigeantes avec des moyens limités l'année suivante.

2.2. Entretenir la fertilité des systèmes SCV installés

Une fois la fertilité accumulée dans la biomasse, la litière et l'horizon superficiel du sol, la gestion de la fertilité dans les systèmes SCV se réduit à entretenir cette fertilité, et à assurer un turn-over rapide de la matière organique (par une production régulière de biomasse de qualité variée).

L'entretien de cette fertilité se fait par :

- l'utilisation dans les systèmes de culture de plantes fixatrices d'azote et/ou favorisant le développement de mycorhizes ;
- le recours aux "pompes biologiques", pour limiter les pertes par lixiviation (en particulier lors des périodes sensibles) et solubiliser les éléments qui pourraient être immobilisés dans le sol ; et
- la compensation des pertes (essentiellement les exportations par les grains, tubercules ou fibres, et éventuellement les pailles), par l'apport d'engrais minéraux et/ou organiques.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

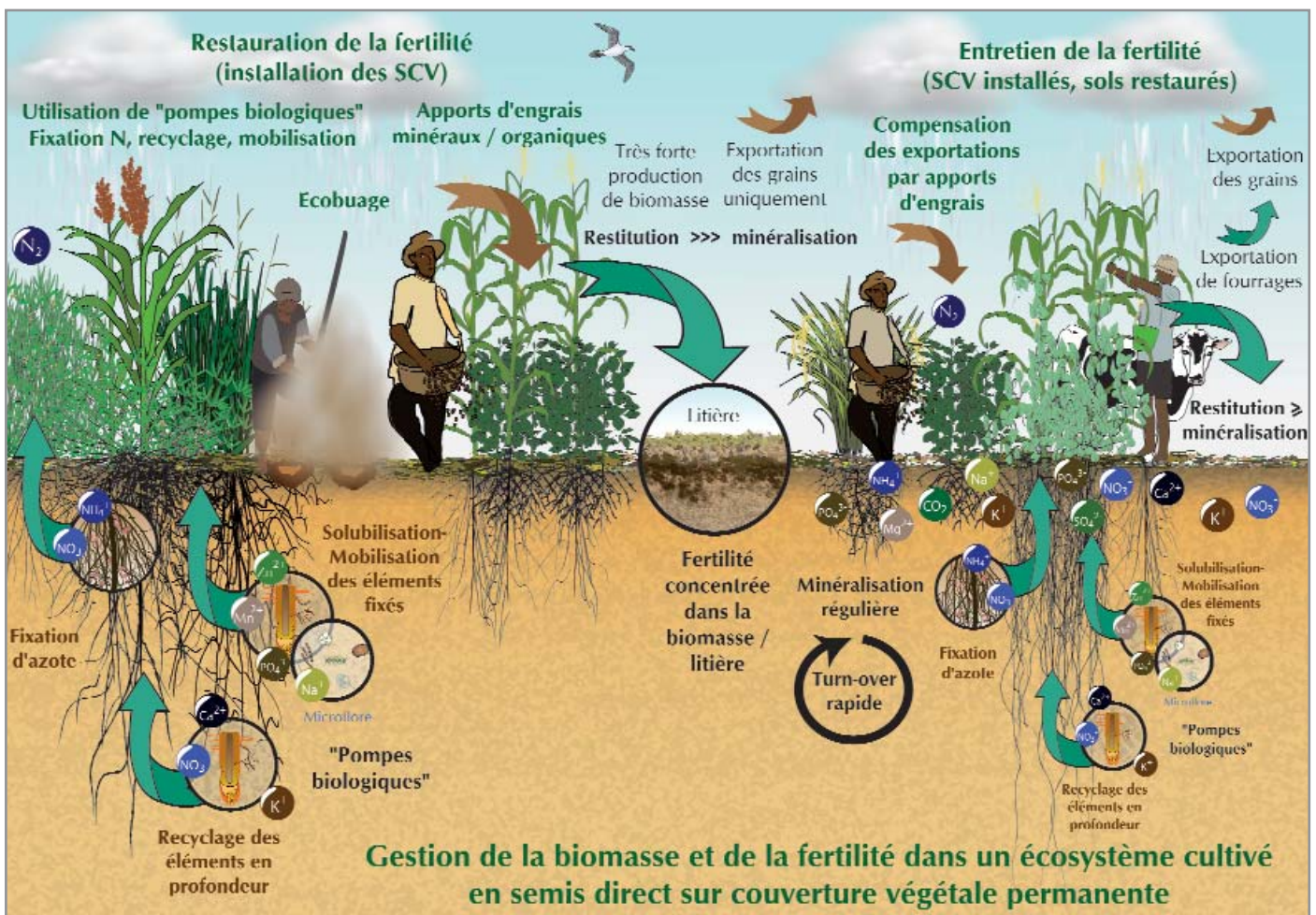
Un calcul simple, sur la base des quantités récoltées et des fourrages exportés et des teneurs moyennes en éléments des diverses plantes, permet d'évaluer les quantités exportées et de les compenser par un apport équivalent en engrais la saison suivante (cf. Volume II. Chapitre 2.).

La principale difficulté réside dans la nécessité d'anticiper une chute de la production de biomasse, pour éviter qu'elle se produise. Une production insuffisante de biomasse, qui ne permet pas de couvrir les pertes, risque en effet de "désamorcer" les systèmes SCV et de rendre difficile le "pilotage" de ces systèmes pour relancer la production. En l'absence de moyens d'analyse (très coûteux), le "pilotage" au champ, pour éviter de "miner" la fertilité restaurée peut se faire par :

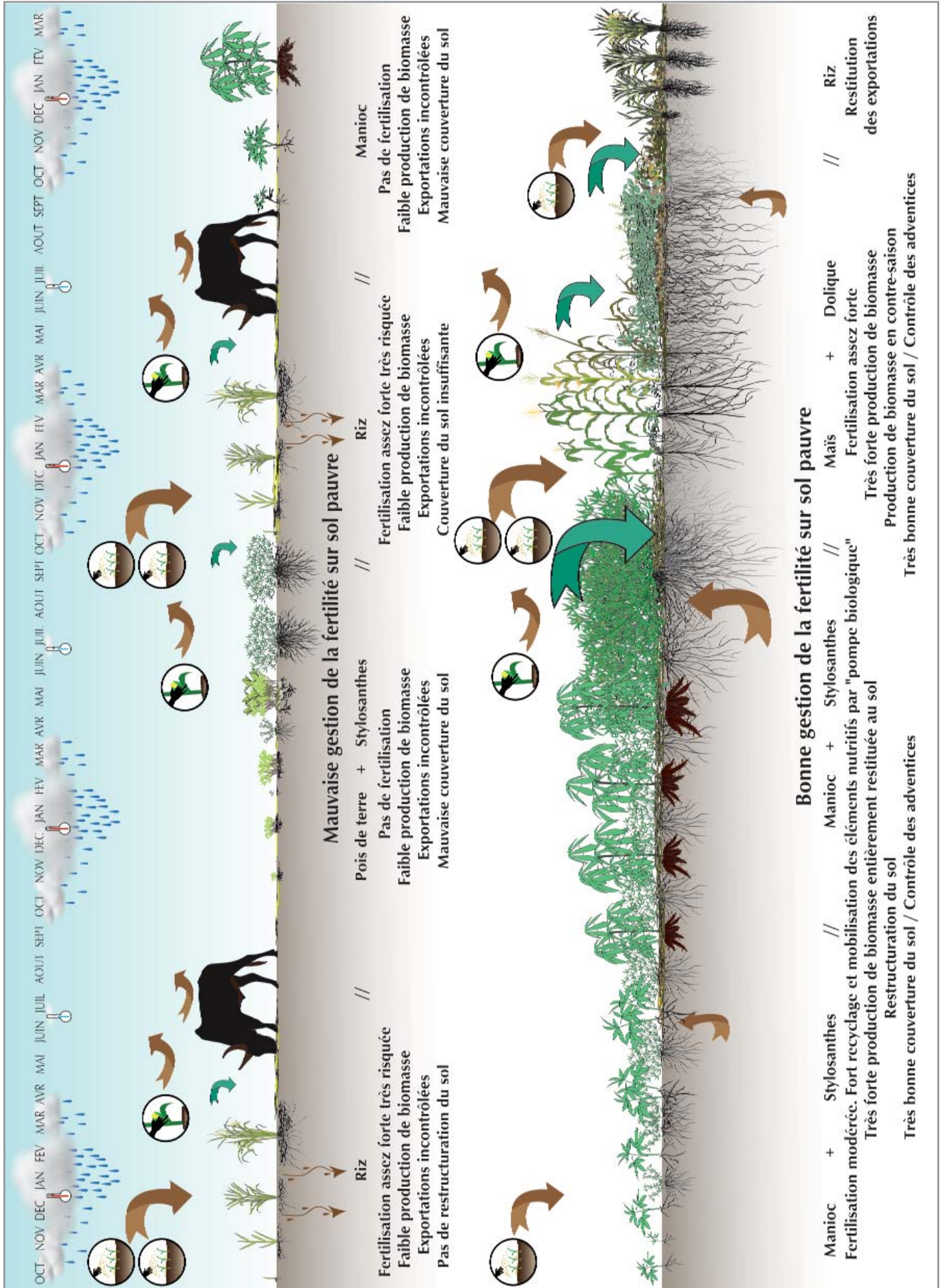
- le suivi précis de l'évolution des rendements et l'observation des signes de manques sur les cultures les plus exigeantes (baisse de rendement inexplicquée, symptômes de carences, etc.), indiquant que le système est en train de "décrocher" et que la fertilisation apportée n'est pas suffisante ;
- la mise en place dans les cultures de "témoins" où la densité des plantes est fortement augmentée (doublée). Avec une telle densité, les prélèvements par les plantes sont plus importants que dans la parcelle "normale" et les signes de carence y apparaissent avant que la culture semée à densité normale n'en souffre. A l'apparition de ces symptômes de carence sur le témoin, il est possible de compléter la fertilisation de la parcelle avant que la culture ne subisse une perte de rendement (technique simple de prévention).



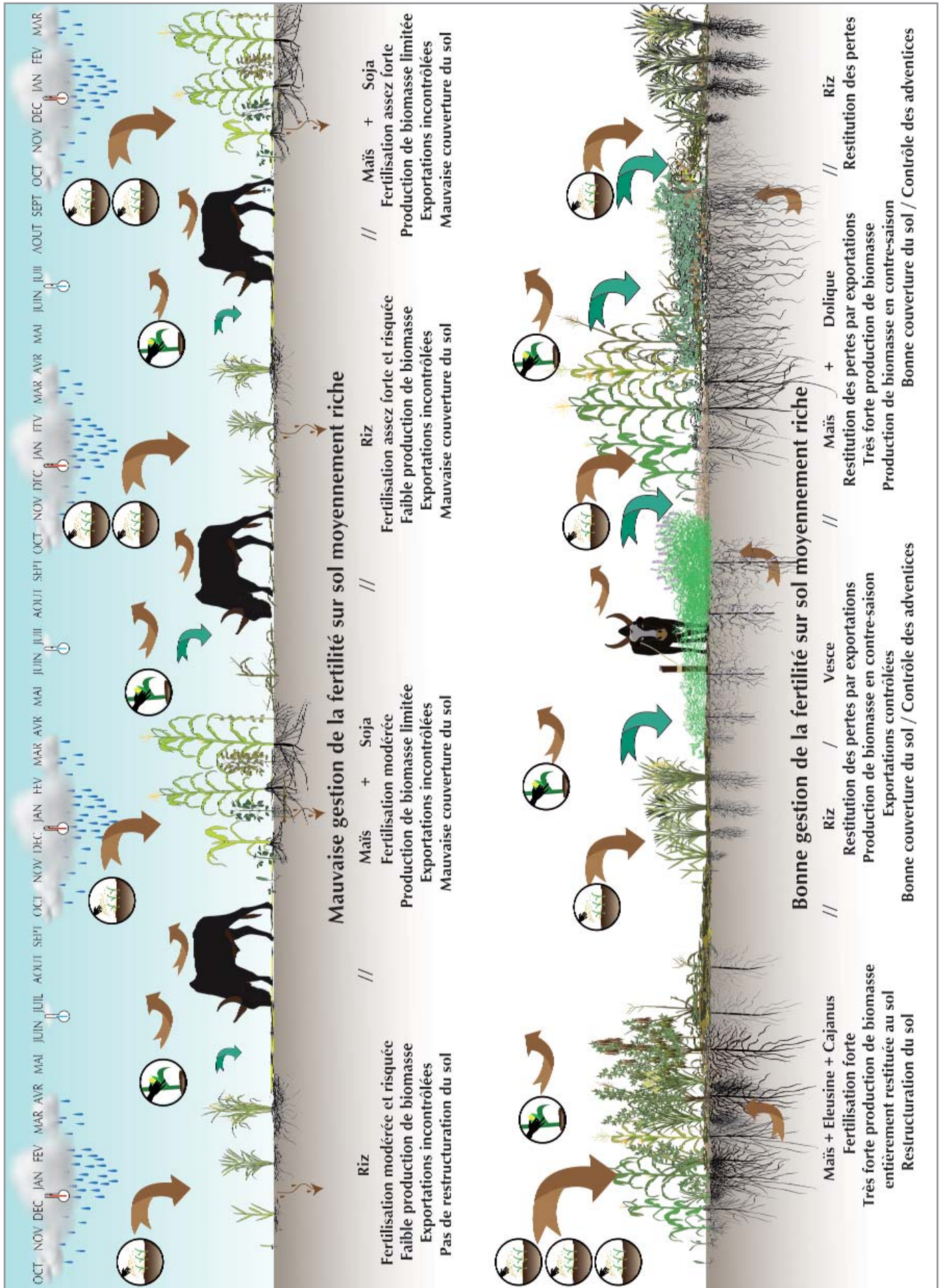
Apport localisé de fumier et d'engrais minéral sur les poquets



La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct



La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct



La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

2.3. Comment apporter la fertilisation minérale et/ou organique

Fertiliser la culture ou fertiliser les “pompes biologiques”?

Lorsque culture et plantes de couverture sont associées, la localisation de l’engrais au pied de la culture principale peut permettre de gérer les risques de compétition entre plantes, en favorisant la culture commerciale.

De manière générale toutefois, l’apport de fertilisation à une culture, que ce soit de manière localisée ou de manière répartie sur tout le champ, bénéficie aussi aux plantes de couverture. Ces “pompes biologiques” valorisent particulièrement bien l’engrais qui leur permet de produire une très forte biomasse, et elles contribuent en retour au bon fonctionnement des systèmes SCV et à l’alimentation des cultures suivantes, après minéralisation de cette biomasse.

Lorsque les cultures et les plantes de couverture sont cultivées en succession, les “pompes biologiques” bénéficient de l’arrière effet de la fertilisation apportée sur la culture principale. Les premières années de transition des systèmes traditionnels vers les systèmes SCV, l’apport

de fertilisation majoritairement à la culture (au minimum 2/3 de la fertilisation normale sur la culture, et 1/3 sur la plante de couverture) est indispensable (d’autant plus que les sols sont pauvres). Par contre, une fois les systèmes SCV installés et fonctionnant sur une forte biomasse/liètière il est possible d’obtenir une meilleure valorisation des engrais minéraux en les apportant majoritairement (2/3) aux “pompes biologiques”. Ces “pompes biologiques” vont transformer cet engrais minéral en engrais organique qui sera ainsi stocké et libéré progressivement pour la culture principale, qui sera alimentée de manière plus régulière. Cependant, les conditions d’accès au crédit dans le cadre d’une petite agriculture familiale (taux d’intérêt, durée des prêts accordés, garanties demandées) sont souvent très contraignantes. La mise en application de ce principe de gestion pour l’optimisation agronomique des apports d’engrais minéraux est difficile dans ces conditions. De plus, l’ajustement de la fertilisation aux conditions climatiques de la campagne, ou à des accidents, ne peut porter que sur la partie des engrais qui n’a pas encore été appliquée.



Forte production de brachiaria fertilisé sur sol dégradé

Eviter les blocages d’azote

Sur un paillage pauvre en azote (sans légumineuse), les processus de minéralisation (qui à terme vont libérer de l’azote soluble) peuvent entraîner dans un premier temps une importante immobilisation de l’azote (utilisé par les bactéries). Une céréale (ou du cotonnier), installée dans une telle couverture, risque de subir une forte “faim d’azote” en début de cycle, très préjudiciable à son développement. Pour éviter ce phénomène, on peut:

- préparer des couvertures à base de légumineuses si l’on souhaite mettre en place une culture de céréale ou de cotonnier;
- contrôler la couverture plusieurs semaines avant la mise en place de la culture, ce qui permet d’obtenir une libération d’azote au moment des semis qui ont ainsi lieu alors que les processus de minéralisation sont avancés.

Il n’est cependant pas toujours possible de traiter une telle couverture à temps, et on doit alors:

- effectuer un apport d’azote (30 à 50 kg N/ha) au semis, indispensable pour toutes les cultures de céréales ou de cotonnier sur un paillage de graminées qui amorce sa décomposition.

3. Gestion de la structure du sol en SCV

Sur des sols compactés, l’installation de systèmes SCV performants passe par une décompaction rapide du sol. En année “zéro” de préparation des SCV, le recours à la décompaction mécanique en profondeur (sous solage) nécessite un matériel spécifique et est très coûteux. Il ne peut être envisagé que pour des cultures à très forte valeur ajoutée. Il est préférable d’uti-

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

liser des plantes de couverture capables de remplir cette fonction rapidement (comme l'éleusine, les brachiarias, le cynodon ou le sorgho), installées en année "zéro" de préparation des SCV (souvent après labour). Ces plantes, par la puissance de leur système racinaire et leur aptitude à favoriser le développement d'une activité biologique intense permettent au sol de retrouver rapidement une structure favorable. Leur forte production de biomasse permet également d'alimenter les processus de stockage de matière organique et d'agrégation, nécessaires à la constitution durable d'une bonne structure.

Le temps que le sol ait été décompacté par les plantes restructurantes, il est préférable de n'installer en association avec ces plantes que des cultures qui tolèrent la compaction, soit du fait d'un système racinaire puissant, soit parce qu'elles se contentent d'un enracinement superficiel. Plus le climat est contraignant, plus il est risqué de mettre en place en année "zéro" des plantes exigeantes comme le riz, qui demande une bonne macroporosité et a des besoins importants en eau.

Par la suite (sur des systèmes SCV installés), toutes les cultures sont possibles. La forte activité biologique, la recharge en carbone du sol et la couverture végétale (rôle de protection) contribuent à conserver au sol une bonne structure. Certaines associations/successions de cultures ne sont cependant pas toujours suffisantes pour maintenir durablement une structure favorable. Dans une telle situation, la tentation de recourir au labour est souvent forte, mais présente de très nombreux inconvénients : il fait perdre rapidement les nombreux bénéfices obtenus par plusieurs années sans perturbation du sol. Il est beaucoup plus efficace d'insérer régulièrement (tous les 2 à 5 ans) des plantes à fort pouvoir restructurant dans les systèmes de culture.

4. Gestion des adventices en SCV

La gestion des adventices est un point crucial les premières années, durant la transition entre pratiques conventionnelles et systèmes en SCV. Quand la production de biomasse est insuffisante (en particulier les premières années, sur des sols peu fertiles) pour assurer une bonne couverture du sol, la tentation est souvent forte (lorsqu'on manque d'expérience dans la gestion de ces systèmes) de labourer de nouveau. Il faut absolument éviter ce retour au labour et pour cela mettre en œuvre des pratiques (sans travail du sol) qui permettent un bon contrôle des adventices (vivaces et annuelles) durant les années de transition. Le choix des cultures et plantes associées au départ doit tenir compte de la flore présente, et viser à produire une forte biomasse pour contrôler cette flore, en utilisant éventuellement les propriétés allélopathiques des couvertures. Dans tous les cas, la première étape consiste à contrôler les plantes vivaces.

4.1. Contrôle des plantes vivaces en année "zéro"

Une plante vivace déjà installée porte fortement concurrence à une plante annuelle (culture), même si elle a été fauchée ou labourée (en particulier les plantes à rhizomes et/ou stolons) :

- son redémarrage de végétation est en général plus rapide que celui de la plante annuelle par graine, ce qui fait que la plante vivace domine rapidement la culture ;
- son système racinaire est souvent plus puissant et profond que celui de la plante annuelle, ce qui crée une compétition forte pour l'eau et les éléments nutritifs.

De plus, le sarclage de ces plantes vivaces pendant la culture est difficile et leur contrôle chimique nécessite l'emploi d'herbicides sélectifs spécifiques (très coûteux et/ou non disponibles à Madagascar). Il est donc indispensable de contrôler les plantes vivaces avant l'installation de la culture.



*Restructuration du sol par les systèmes racinaires puissants et l'activité biologique
Mais sur desmodium*



Installation de niébé dans du Cynodon dactylon contrôlé à l'herbicide

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Pour l'utilisation en couverture vive (haricot ou niébé sur cynodon par exemple), le contrôle se fait généralement par utilisation d'herbicide total à dose réduite (Cf. Volume II. Chapitre 2.). L'objectif est de freiner la croissance de la plante vivace pendant un temps suffisant (45 jours environ) pour permettre à la culture de se développer et de dominer la couverture vive, mais sans tuer cette dernière pour qu'elle se redéveloppe naturellement après la récolte de la culture principale. Pour l'installation de systèmes SCV sur couverture morte (ou de systèmes sur couverture vive mais avec une autre plante pérenne), les plantes vivaces doivent être totalement contrôlées. Ce contrôle (cf Volume II. Chapitre 2.) se fait par :

- application d'herbicide total à forte dose (de préférence en fin de saison des pluies précédente, sur des plantes en végétation active avant floraison et qui devront traverser la saison sèche);
- labour en début de saison sèche, couplé ou non avec application d'herbicides totaux à faible dose, puis nouveau(x) labour(s) et arrachage des plants qui auraient pu survivre.

Pour des plantes vivaces particulièrement résistantes (*Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Imperata cylindrica*, etc.), le contrôle peut être complété par la mise en place de plantes particulièrement efficaces pour nettoyer les parcelles, comme la vesce, la mucuna ou le stylosanthes.

Une fois les adventices vivaces éliminées de la parcelle, la réinfestation est évitée par contrôle manuel ou application localisée d'herbicide total sur d'éventuelles repousses (avant qu'elles n'aient pu produire des graines). La gestion des adventices sous SCV installés se limite donc essentiellement à la gestion des adventices annuelles.

4.2. Contrôle des adventices annuelles

En année "zéro" de préparation des SCV, le contrôle des adventices annuelles se fait essentiellement par labour et utilisation d'herbicides si nécessaire (cf. Volume II. Chapitre 2.). Les associations de cultures mises en place doivent permettre de réduire la pression des adventices. En revanche, elles compliquent l'utilisation d'herbicides sélectifs. Si le contrôle par les couvertures est insuffisant en année "zéro" et que les associations ne permettent pas l'utilisation

d'herbicide sélectif, le contrôle de ces adventices se fait par sarclage ou de préférence par arrachage manuel, ce qui exige un travail considérable. Quand la pression des adventices est forte, il est donc préférable d'installer en premier lieu une culture facile à désherber (comme le maïs ou le sorgho), associée à des plantes qui couvrent rapidement le sol (légumineuse volubile par exemple) et/ou ont des effets allélopathiques marqués (comme l'avoine). L'itinéraire technique peut aussi être adapté pour contrôler au mieux les adventices annuelles: forte densité pour couvrir rapidement le sol, semis très précoce, variétés à cycle court, etc. Certaines adventices aux caractéristiques particulières et qui peuvent être de véritables pestes végétales (comme le striga) peuvent être contrôlées par des systèmes particuliers (cf. Volume I. Chapitre 3.§3.)

Les années suivantes, sur SCV installé, le contrôle des adventices annuelles se fait avant tout par la couverture végétale qui, si elle est suffisante, empêche la levée de la plupart des adventices, que ce soit par effet d'ombrage ou par effets allélopathiques des plantes utilisées en couverture. Plus la couverture du sol est alimentée régulièrement et plus les couvertures comportent des plantes "nettoyantes" (capables de dominer les autres), meilleur sera ce contrôle.

En cas d'éventuelles repousses (en particulier si une période sans culture a permis ces repousses), l'application d'un herbicide total à faible dose avant la mise en place des cultures est suffisant pour préparer la parcelle (cf. Volume II. Chapitre 2.). L'absence de travail du sol fait que le stock de graines n'est pas remonté en conditions favorables à la germination. Seules les graines d'adventices produites sur la parcelle le cycle précédent et celles transportées par le vent ou les animaux sont en mesure de germer.

Si la couverture végétale est régulièrement alimentée, en quantité suffisante, la pression des adventices baisse progressivement. Par contre, si la couverture végétale ne couvre plus suffi-



Contrôle des adventices par le paillage
Photo : K. Naudin

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

samment le sol (système SCV mal maîtrisé, accident de culture, très fort intérêt économique à exporter la biomasse, etc.), le contrôle des adventices nécessite l'utilisation d'herbicides sélectifs (quand ils sont disponibles) ou l'arrachage manuel de ces adventices (avant mise à graine). Le recours au sarclage est à éviter autant que possible car il entraîne une perturbation du sol, accélère la minéralisation et, en conséquence, réduit encore la couverture végétale et risque d'augmenter la pression des adventices (en plus de faire perdre les acquis agronomiques des années précédentes en SCV). L'entretien de la couverture végétale du sol, qui doit être aussi permanente que possible, est donc un point clef dans la gestion des adventices.



Avoine : plante "nettoyante" aux effets allélopathiques marqués

4.3. Contrôle des plantes de couverture

Pour éviter qu'une plante de couverture ne devienne une adventice indésirable, sa gestion doit être adaptée au système de culture. De manière générale, il ne faut pas laisser les plantes de couverture grainer quand on souhaite remettre les parcelles en culture, sauf :

- dans le cas où on souhaite expressément que la couverture, qui sera tuée pour implanter la culture, puisse se réinstaller naturellement, sans avoir à la ressemer. Ce cas se limite à des plantes au démarrage lent (comme le stylosanthes ou la vesce), qui ne risquent pas d'entrer en compétition avec la culture suivante ;
- si l'on dispose d'herbicide sélectif de la culture à mettre en place, qui contrôle bien la plante de couverture.

Dans tous les autres cas, plus la plante de couverture est "agressive", et plus elle est d'une espèce proche de la culture à mettre en place (ce qui fait qu'elle sera très difficilement contrôlable par utilisation d'herbicide sélectif), plus il sera difficile de la contrôler dans la culture suivante et plus il est important d'éviter de la laisser grainer.

5. Gestion des bioagresseurs en SCV

5.1. Gestion de la faune nuisible

La gestion des insectes et autres animaux nuisibles (limaces, nématodes, etc.) en SCV se fait avant tout par une nutrition équilibrée (ce qui réduit l'accumulation dans les plantes de sucres réducteurs et d'acides aminés libres, très appréciés des insectes) et sur les principes de la lutte intégrée, par :

- l'instauration d'un équilibre écologique, qui permet le développement des populations d'auxiliaires, prédateurs des ravageurs des cultures ;
- l'utilisation de plantes insecticides, nématicides et/ou répulsives dans les systèmes de culture. Plus la pression des nuisibles est forte, plus on cherchera à inclure dans les systèmes des plantes permettant leur contrôle ;
- la création, par les pratiques SCV, d'un environnement favorable au bon développement d'organismes entomopathogènes (*Beauveria sp.*, *Bacillus thuringensis*, etc.) et éventuellement par leur inoculation.

L'instauration d'un équilibre écologique et d'une alimentation équilibrée demande cependant du temps (quelques mois à quelques années en fonction de l'état de dégradation de l'écosystème). Les premières années, le temps qu'un tel équilibre soit atteint, le contrôle des bioagresseurs se fait :

- autant que possible par l'utilisation de cultures peu sensibles aux principaux ravageurs (on peut par exemple commencer par des cultures de légumineuses dans les milieux infestés d'*Heteronychus sp.*) ;
- par l'utilisation raisonnée de pesticides.

Les pesticides (en particulier ceux à large spectre) étant défavorables à l'instauration d'un équilibre écologique, leur utilisation doit être réduite au strict minimum, uniquement en cas

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

de pression très forte, seulement sur des cultures sensibles, et avec des traitements les moins nuisibles possibles (traitement de semence de préférence, avec des matières actives les plus sélectives possibles, à faible dose). Les traitements du sol, particulièrement nuisibles à sa faune et sa microflore, doivent être évités autant que possible.

5.2. Gestion des virus, bactéries et champignons pathogènes



Riz très sain après stylosanthes
Photo : Rakotondramanana

De la même manière, les principales maladies sont contrôlées en SCV par l'amélioration du statut nutritif des plantes et l'activité de la microflore (sécrétion d'éliciteurs, d'antibiotiques, etc.). Le temps que l'activité biologique du sol soit restaurée, le contrôle des maladies (en particulier les maladies fongiques) se fait avant tout par :

- utilisation d'espèces et de variétés résistantes, en mélanges ;
- des apports de fertilisation fractionnés, sous forme organique autant que possible afin d'éviter les pics d'azote minéral dans le sol (et en conséquence dans les plantes).

L'utilisation de fongicides est, comme pour les autres pesticides, limitée au strict minimum, leur impact sur l'activité de la microflore étant extrêmement négatif. Si la pression fongique est telle qu'un traitement est indispensable, il doit se faire sous la forme la moins néfaste possible (traitement de semence, à faible dose, avec une matière active la plus sélective possible). L'utilisation de pesticides à forte dose, même si elle

peut avoir un effet positif à très court terme, a un effet très négatif sur la santé des plantes à moyen terme, du fait de son impact sur l'activité biologique du sol et la physiologie des plantes.

6. Gestion du calendrier de travail et du matériel en SCV

De manière générale, les pratiques SCV et leur diversité offrent une grande souplesse de gestion du calendrier de travail. En SCV, les trois principales charges de travail sont le traitement des couvertures avant semis, les semis et la récolte.

En agriculture manuelle, le traitement des couvertures peut se faire plus ou moins tôt en fonction des contraintes de travail. Il peut en particulier se faire durant la période sèche, quand la charge de travail est en général faible dans les exploitations. De plus, la possibilité de semer les cultures en sec, ou au tout début de la saison des pluies, permet de répartir la charge de travail pour la préparation des parcelles et le semis. Elle rend possible la mise en place très précoce des cultures.

L'équipement nécessaire en petite agriculture familiale est limité à un pulvérisateur à dos (qui peut être partagé par plusieurs exploitations), utile pour les éventuels traitements phytosanitaires ou herbicides.

En agriculture mécanisée, seul le matériel de semis est spécifique aux systèmes SCV, car il doit permettre le semis direct dans la paille. Il existe toute une gamme de semoirs (et de pulvérisateurs) : manuels, en traction animale, en petite et en grande mécanisation. L'absence de labour permet de limiter la puissance nécessaire (et donc l'investissement), et réduit fortement l'usure du matériel et les dépenses de carburant. Le coût de la mécanisation est donc très inférieur en semis direct par rapport à l'agriculture mécanisée conventionnelle.

De plus, la meilleure portance et le ressuyage rapide des parcelles permettent d'entrer dans les parcelles avec du matériel lourd presque à tout moment, en ayant à attendre seulement quelques heures après des grosses pluies. Cela permet en particulier d'optimiser les traitements en les conduisant au meilleur moment.

Enfin, il est possible de récolter une culture tout en semant une autre plante à la volée (adaptation d'un semoir sur la moissonneuse), ce qui permet d'installer des successions de plantes en un minimum de temps, même lors de la période très chargée de la récolte.

La gestion du travail (et des équipements) dans les systèmes SCV se réduit donc à répartir les périodes de forte charge de travail (contrôle des couvertures, semis et récolte) en "jouant" sur les cycles des espèces et variétés à mettre en place au niveau de l'exploitation, pour éviter que les travaux importants ne se chevauchent ou n'entrent en compétition avec d'autres activités.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

7. Intégration agriculture/élevage en SCV

Les systèmes en semis direct sur couverture végétale permanente fonctionnent sur la base d'une optimisation de la production et de la gestion de la biomasse, et privilégient les apports de matière organique. Ils doivent en conséquence être intégrés avec les systèmes d'élevage, en particulier celui des gros animaux (bovins, ovins, caprins, porcins, etc.) qui sont à la fois consommateurs de biomasse, producteurs d'engrais organiques et qui peuvent fournir une force de travail utilisée par les systèmes de culture.

En fonction des situations, et en particulier en fonction des possibilités de production de biomasse et de l'importance des systèmes d'élevage dans les systèmes agraires, l'intégration agriculture-élevage peut se faire plus ou moins facilement, et peut représenter une "porte d'entrée" ou au contraire un frein à la diffusion des techniques SCV. Dans tous les cas, les systèmes SCV doivent être raisonnés en fonction de la place de l'élevage dans l'exploitation, et au niveau des terroirs villageois. Cette adaptation se fait en particulier sur la base du type d'élevage et du mode de gestion communautaire (ou pas) des ressources fourragères.

7.1. Adaptation des systèmes SCV à la pression sur la biomasse (besoins en fourrages)

Dans les milieux où la pression sur la biomasse est relativement faible (peu d'animaux à nourrir par rapport aux surfaces disponibles et au potentiel de production), l'intégration agriculture SCV/élevage ne pose pas de problème. L'alimentation des animaux ne se fait pas au détriment du retour au sol de biomasse, et l'élevage peut facilement venir en appui aux cultures, en fournissant force de travail et surtout engrais organiques de qualité. L'amélioration de l'intégration entre agriculture et élevage se fait avant tout par la gestion des animaux : facilitation de leur alimentation (éventuellement par la production de fourrages dans les systèmes SCV) et collecte des déjections dans des étables fumières, amélioration de la santé animale (alimentation et soins vétérinaires), etc.

Quand la pression des animaux augmente, et avec elle les besoins en fourrage pour leur alimentation, l'intégration entre agriculture et élevage doit se faire de manière à optimiser l'utilisation de la biomasse. Elle dépend avant tout des possibilités d'accroître la production de biomasse totale grâce aux pratiques SCV, de l'intérêt économique de l'élevage comparativement aux cultures, et du mode de gestion des ressources au niveau du terroir. De nombreuses possibilités existent, plus ou moins faciles à gérer en fonction des situations. Elles doivent être adaptées localement, au cas par cas.

Quand la charge en animaux s'approche de la charge maximale que peut supporter un environnement (sans surexploitation), quelle que soit sa gestion, l'intégration agriculture/élevage devient particulièrement délicate et dépend largement de l'intérêt comparatif des cultures par rapport à l'élevage et du mode de gestion des ressources au niveau des terroirs. Seule une gestion optimale de plantes fourragères, capables de retourner une quantité de carbone suffisante au sol grâce à leur système racinaire et dont les exportations sont compensées par des apports d'engrais permet de maintenir la fertilité des sols. Une telle gestion n'est possible que si les ressources sont gérées individuellement et si l'élevage est une source majeure de revenus pour les exploitations (cas de l'élevage laitier), leur permettant une certaine intensification (restitutions des éléments nutritifs exportés).

Au delà de cette charge maximale que peut supporter un environnement, l'élevage est de type "minier", puisant dans la fertilité des sols et entraînant sa dégradation rapide. Les systèmes ne peuvent pas être durables, quelle que soit leur gestion.

7.2. Adaptation des systèmes SCV au mode de gestion des ressources fourragères

Plus la charge d'animaux augmente au niveau d'un terroir, plus la gestion des ressources doit être fine. L'optimisation de la production de biomasse, qui se fait avant tout par les associations/successions de cultures et par une gestion de la fertilisation ne peut se faire que si les bénéfices tirés de ces pratiques reviennent à ceux qui les ont mises en œuvre (individuelle-



*Affaiblissement du *Brachiaria ruziziensis* par le surpâturage*

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

ment ou collectivement). Ainsi, la pratique très fréquente de la vaine pâture, qui permet à tout animal de “divaguer” sur les parcelles après leur récolte, est un obstacle majeur qui limite les possibilités de bonne gestion de la biomasse.

Cet obstacle peut être levé soit :

- par modification des règles locales, afin de permettre la protection de la biomasse sur les parcelles de ceux qui donnent la priorité à leurs cultures et souhaitent utiliser la biomasse disponible pour la régénération des sols par les pratiques SCV. Une telle modification des règles locales passe par une bonne compréhension de l'intérêt de maintenir un taux élevé de matière organique au sol, et une prise de conscience collective de l'impact sur les sols et les cultures de l'exportation excessive de biomasse. Elle peut cependant se heurter aux réticences des “gros” éleveurs, qui ont un nombre important de bêtes à nourrir, ne peuvent pas en assurer l'alimentation sur leur exploitation uniquement, et ont souvent une forte influence dans les décisions collectives du fait de l'importance que leur confère la possession d'un tel troupeau. Cette option est également très difficile à mettre en œuvre dans le cas d'élevage itinérant.
- par l'implantation dans les plantes de couverture d'une culture en toute saison (comme le manioc par exemple), ce qui interdit alors l'accès des parcelles aux animaux (suivant les règles locales). La “culture” ainsi implantée peut être conduite de manière très extensive, à très faible densité et sans aucun investissement, son intérêt principal n'étant pas l'obtention d'une production (très aléatoire en dehors des périodes de culture habituelles) mais son rôle de protection de la biomasse ;
- on peut encore, en dernier recours, utiliser des plantes de couverture non appréciées par les animaux comme les crotalaires. Cette option a l'avantage de pouvoir être applicable dans toutes les situations, mais limite fortement les possibilités des systèmes et ne permet pas une exportation partielle de la biomasse pour l'alimentation des animaux de l'exploitant.

7.3. Adaptation des systèmes SCV au type d'élevage

En fonction de la vocation des élevages, les possibilités d'intégration avec les systèmes SCV sont plus ou moins variées, et plus ou moins faciles à mettre en œuvre.

Elevage commercial (laitier ou pour la viande) intensif

Ce type d'élevage, s'il a l'inconvénient de conduire à une forte exportation de biomasse, a l'avantage d'être conduit individuellement et souvent avec confinement des animaux, ce qui permet une bonne gestion de la fertilité : production d'un fumier de qualité et obtention de revenus (dégagés par la vente des produits) qui permettent de réinvestir dans des engrais pour maintenir la fertilité des parcelles (destinées en premier lieu à la production de fourrages). Pour ces exploitations à dominante fourragère, la régénération des pâturages par la mise en place d'une culture associée en SCV est une option intéressante.

Elevage commercial (laitier ou pour la viande) extensif et cultures

Pour des exploitations mixtes polyculture-élevage, les systèmes SCV offrent de nombreuses possibilités. Les systèmes en associant cultures et plantes de couverture permettent (dans une mesure variable) d'augmenter le disponible fourrager. La gestion de la fertilité est facilitée par les revenus procurés par l'élevage et par le mode de conduite (alimentation à l'étable qui permet de produire un fumier de qualité). La part des cultures fourragères peut être adaptée en fonction des évolutions des prix relatifs des produits de l'élevage et des cultures.



Vaine pâture après la récolte
Lac Alaotra

La principale difficulté réside dans la bonne répartition entre restitution et utilisation de la biomasse en fourrage, en particulier les premières années où l'essentiel de la production doit être restitué au sol pour son amélioration. Il faut également résister à la tentation d'augmenter la charge d'animaux au détriment des restitutions au sol, et ce en particulier quand les prix des produits de l'élevage sont comparativement plus intéressants que ceux de l'agriculture.

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

Elevage pour la force de traction

Les animaux de traction sont en général en petit nombre, mais sont l'objet de nombreuses attentions pour leur assurer une bonne alimentation et un bon état sanitaire. L'intégration dans des systèmes SCV peut se faire par la production de fourrages, en particulier à des périodes clés (avant les gros travaux) et par la réduction des besoins en force de traction. La production de fumier contribue à restituer les éléments nutritifs exportés.

Elevage "de capitalisation"

Le statut social conféré par la possession d'animaux est très important dans de nombreux pays du sud. De plus, le rôle d'épargne que jouent les animaux est souvent prépondérant. En conséquence, la possession d'animaux a très fréquemment un rôle essentiel de capitalisation. Bien souvent, ces animaux utilisent des ressources communautaires, qu'il est très difficile de gérer. La pratique de la vaine pâture permet aux animaux de s'alimenter toute une partie de l'année sur des ressources qui ne sont pas individualisées. Quand la charge d'animaux au niveau d'un terroir n'est pas très importante, la fertilité peut être maintenue à cette échelle. Par contre, quand la charge augmente, la pression devient trop importante et ce type d'élevage "mine" les ressources naturelles. Malheureusement, dans le cadre d'une utilisation communautaire des ressources (vaine pâture), quand le milieu est très contraignant (climat semi-aride par exemple) ou se dégrade et que les productions végétales sont peu rentables, une "adaptation" très fréquente des paysans est de se tourner individuellement vers ce type d'élevage "minier" pour profiter des ressources communes. On retrouve ainsi de très importants troupeaux dans les milieux semi-arides, alors que le faible potentiel de production de biomasse devrait au contraire limiter le nombre d'animaux. Ces animaux sont souvent obligés de se déplacer sur de grandes distances pour s'alimenter (élevage itinérant), ce qui réduit encore les performances des systèmes d'élevage. Dans une telle situation de forte pénurie de ressources et d'absence de possibilités de gestion de ces ressources, l'intégration agriculture/élevage est particulièrement difficile. La seule possibilité pour maintenir une biomasse suffisante au sol est d'avoir recours à des plantes de couverture non appréciées par les animaux.



Alimentation au parc des boeufs de trait

8. SCV et arbres

Les principes des SCV, qui copient le fonctionnement d'un écosystème forestier, permettent d'intégrer de diverses façons les arbres dans les systèmes, qui deviennent des systèmes agroforestiers (avec couverture végétale permanente du sol).

8.1. Restructuration des sols avant plantation

Sur des sols dégradés et fortement compactés, la restructuration des sols par des graminées à système racinaire très puissant (comme le *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu*) est un préalable à toute plantation arborescente (reboisement, plantation de verger) dans de bonnes conditions. Quand les arbres utilisés sont des légumineuses (acacia, etc.), la fixation d'azote profite aux graminées qui se développent plus rapidement et remplissent encore mieux leur fonction de décompactation.

8.2. Protection des sols dans les vergers et plantations

La couverture du sol par des plantes pérennes permet de protéger et d'enrichir les sols, et de contrôler les adventices dans les vergers et les plantations. Les couvertures vivantes sont installées de préférence avant la plantation des arbres. Elles doivent pouvoir se maintenir sous fort ombrage (comme *Arachis repens*) pour assurer leurs fonctions, en particulier dans les plantations denses d'arbres, qui laissent pénétrer peu de lumière.



Plantation d'acacias après restructuration du sol par le brachiaria

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct



Verger de pêchers sur
couverture de trèfle

Les plantes rampantes (comme *Arachis pintoï*, *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus*) une fois installées ne demandent qu'un faible entretien (éventuellement, leur contrôle autour des arbres en cas de déficit hydrique). Les plantes érigées (comme *Stylosanthes guianensis* ou les brachiarias) peuvent être fauchées autour des jeunes arbres pour éviter la compétition pour la lumière, et éventuellement contrôlées (chimiquement ou mécaniquement) autour des arbres en cas de compétition pour l'eau. Les plantes volubiles (comme le pueraria) ne doivent pas être implantées près des arbres car leur contrôle demande alors un travail important et fréquent.

Les couvertures à base de légumineuses, par leur fixation d'azote atmosphérique dont profitent les arbres, sont particulièrement intéressantes. Dans les milieux secs, l'implantation de plantes capables de rester vertes très longtemps en saison sèche (comme le stylosanthes) permet de limiter les risques de propagation de feux.

Une partie de la biomasse produite peut être utilisée pour l'alimentation des animaux après fauche (en particulier quand les arbres sont encore jeunes) ou pâturage (quand les arbres ne risquent plus d'être endommagés).

8.3. Plantations d'arbres à haute valeur

La culture en SCV de plantes annuelles en intercalaire des lignes d'arbres, avant qu'ils ne ferment leur canopée, permet d'obtenir une production les premières années après la plantation, quand les arbres ne produisent pas encore mais laissent passer la lumière. Elle permet également l'implantation à moindre coût d'une couverture végétale pérenne sous les arbres. De la même manière, la plantation d'arbres productifs à moyen terme (fruitiers, hévéas, cocotiers, etc.) en intercalaire avec des espèces à croissance très lente mais à haute valeur (teck, dipterocarpacees, albizia, etc.) permet de dégager des revenus réguliers pendant la longue période de croissance de ces espèces précieuses. Outre les bénéfices considérables obtenus à terme, ces associations permettent de protéger la biodiversité en produisant ces espèces rares plutôt qu'en les exploitant dans leur milieu naturel.

9. Gestion des risques et SCV

La gestion des risques est un point crucial en agriculture, et en particulier dans le cadre d'une petite agriculture familiale. De manière générale, la pratique des systèmes SCV dans des systèmes bien installés diminue fortement les risques et assure une production stable et résiliente :

- le risque climatique est réduit du fait d'une réserve en eau utile importante, de températures tamponnées, d'un calage des cycles de cultures dans les périodes optimales, du mélange d'espèces et/ou de variétés, etc. Il est même possible de conduire des cultures avec un risque limité dans des zones et/ou à des périodes où elles ne sont pas possibles (ou avec un risque très important) en agriculture conventionnelle ;
- la pression des adventices et des ravageurs est généralement réduite ;
- les coûts de production (et donc les investissements) sont faibles une fois que les systèmes bien installés peuvent fonctionner avec un minimum d'intrants ;
- la diversité des productions réduit les risques agronomiques et le risque économique de fluctuations des marchés, etc.

Le principal risque à gérer est en conséquence celui lié à la transition de systèmes conventionnels vers les SCV, durant les premières années, le temps que l'ensemble des fonctions écosystémiques assurées par ces systèmes soient opérationnelles. Cette période est d'autant plus critique qu'elle demande une remontée de la fertilité du sol (et donc un investissement en temps et/ou en intrants) et que les temps de travaux pour la conduite des systèmes ne sont sensiblement réduits qu'une fois que les systèmes fonctionnent bien, après accumulation d'une forte biomasse. Cependant, une fois passé le cap des premières années (avec toujours la tentation de retourner au travail du sol quand un problème se présente), quand ils maîtri-

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

sent ces techniques de semis direct et en perçoivent les avantages, les paysans abandonnent rarement le semis direct.

Cette étape de transition est particulièrement sensible en petite agriculture familiale, dont les moyens d'investissements et la capacité à courir des risques sont très limités.

Pour réduire ces risques, les investissements les plus risqués car les plus coûteux, et en premier lieu les apports d'engrais, ne doivent être réalisés que quand le risque d'échec est limité et donc que l'ensemble des conditions de réussite sont rassemblées à temps: système de culture adapté aux conditions, semis précoces à la période la plus favorable (y compris si nécessaire de manière à éviter les périodes à risque de grêle ou de cyclone), moyens de contrôle des adventices et des bioagresseurs disponibles, etc.

Outre ces facteurs agronomiques, deux autres facteurs plus difficiles à maîtriser doivent être réunis :

- la sécurité de la production. Un risque élevé de vol de la production sur pied (malheureusement fréquent à Madagascar) est un frein considérable à l'augmentation de la production agricole (de quelque manière que ce soit). En augmentant le risque de ne pas pouvoir rembourser les investissements consentis, il fait chuter l'intérêt d'intensifier les productions ;
- la sécurité foncière. Le risque de ne pas pouvoir profiter à moyen terme des effets de pratiques améliorantes réduit l'intérêt de réaliser un investissement dans la fertilité à long terme d'une parcelle (sauf si cet investissement peut être rentabilisé à court terme comme l'écobuage avec la pomme de terre ou l'association manioc+brachiaria, qui a des effets marqués sur le rendement du manioc l'année même).

Plus les risques d'échecs sont élevés et moins l'exploitant a la capacité à supporter un échec, plus il faut se tourner vers des systèmes à faible investissement (et donc moindre risque): cultures peu exigeantes, restauration progressive de la fertilité par utilisation de "pompes biologiques", etc.

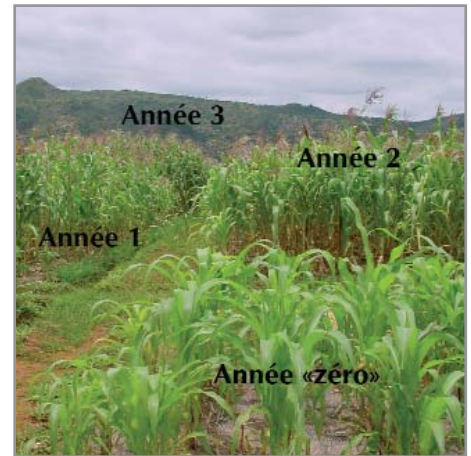
10. Complexité et apprentissage des SCV

La pratique des SCV demande un certain nombre de connaissances, en particulier la connaissance du matériel végétal et la maîtrise de sa gestion, qui s'acquièrent progressivement. Elle demande donc une période d'apprentissage.

D'autre part, il existe parmi la large gamme de systèmes SCV possibles des niveaux de complexité très variables. Certains systèmes comme ceux sur couverture morte à base de *Stylosanthes guianensis* sont extrêmement simples à mettre en œuvre, offrent une grande souplesse, sont applicables dans de nombreuses situations, et/ou sont peu affectés par des modifications de l'itinéraire technique. A l'inverse, d'autres systèmes comme ceux sur couverture vive (très efficaces) demandent une maîtrise technique très fine, des intrants spécifiques, un calendrier et un itinéraire technique très précis, etc.

Durant la période d'apprentissage (que ce soit celle de cadres et de techniciens ou celle d'agriculteurs), il est préférable de débiter avec les systèmes les plus simples possibles, même si leur potentiel de production est inférieur à celui de systèmes plus complexes. Un système simple bien conduit est plus productif qu'un système complexe mal mené !

Au fur et à mesure que s'accroissent la connaissance des plantes et la maîtrise technique des systèmes, il devient possible de complexifier les systèmes: introduire un plus grand nombre de plantes pour diversifier les fonctions écosystémiques remplies par ces systèmes, les gérer de manière plus fine, avec des intrants plus spécifiques, etc.



Rendements croissants avec les années de semis direct



Parcelle d'apprentissage du semis direct à l'école

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

11. Conclusions. Gestion intégrée des systèmes SCV

Les systèmes SCV, par la diversité et la multi-fonctionnalité des plantes sur lesquelles ils reposent, permettent :

- d'assurer les fonctions indispensables pour un bon fonctionnement de l'écosystème ;
- de rendre un grand nombre de services écosystémiques gratuits.

Ces systèmes fonctionnent avant tout comme un ensemble, et doivent être gérés de manière intégrée afin d'assurer les multiples fonctions fondamentales. Ainsi, la gestion de la fertilité ne peut être dissociée de celle des adventices ou des bioagresseurs, et ne peut pas ne pas prendre en compte les besoins de l'élevage ou les conditions des marchés par exemple.

Outre la gestion de l'écosystème cultivé en SCV dans son ensemble, il est nécessaire de raisonner les systèmes de cultures dans le temps, sur plusieurs années afin :

- d'assurer une production de biomasse suffisante pour un semis direct chaque année. Il faut en particulier garder en permanence une biomasse suffisante pour assurer le contrôle des adventices et le maintien de la fertilité, et donc anticiper constamment pour garantir de bonnes conditions pour la saison suivante. Il est cependant possible par exemple de produire des plantes d'intérêt majeur pour les paysans mais qui produisent peu de biomasse, à condition l'année précédente de produire une très forte biomasse, et/ou d'installer en succession une plante qui permettra d'obtenir une biomasse suffisante avant la culture suivante ;
- de gérer la fertilité dans le temps, en alternant des plantes aux fonctions et besoins divers, en commençant par des plantes capables de lever les contraintes principales (compaction, faible fertilité, acidité, enherbement, etc.) ;
- de contrôler l'enherbement. Le contrôle de plantes vivaces doit parfois se faire plusieurs mois avant la mise en place de la culture en année "zéro", à la fin de la saison des pluies précédente. Par la suite, la gestion de l'enherbement se fait avant tout par le contrôle des adventices annuelles grâce à la couverture végétale permanente, et est donc très liée au précédent cultural.



Haricot après avoine

Cette gestion intégrée dans l'espace et dans le temps repose avant tout sur le choix des cultures et des plantes associées ou en successions dans les systèmes de culture, et en partie seulement sur le choix des itinéraires techniques. Elle nécessite un suivi précis et des observations fines de l'évolution des conditions à la parcelle. La diversité des plantes et des systèmes offre des possibilités d'adaptation aux grandes contraintes agronomiques (climats, sols, etc.) et socio-économiques (pression sur la biomasse, moyens disponibles, conditions de marchés, etc.). Cependant, chaque contrainte réduit le nombre de systèmes possibles et/ou leurs performances et intérêts. Plus les contraintes (niveau de dégradation du milieu, pression sur la biomasse, marchés, etc.) sont nombreuses et fortes, plus il est difficile et compliqué de concevoir et mettre en œuvre des systèmes permettant de lever rapidement toutes ces contraintes. La marge de manœuvre est réduite. Il faut alors du temps et la diffusion de ces systèmes est plus difficile et plus lente que dans des milieux moins contraignants, qui offrent une large gamme de possibilités.



Association maïs + stylosanthes