



Volume I

Principe, fonctionnement et gestion des écosystèmes

**D'après le Manuel pratique du semis direct à Madagascar, adapté par l'équipe du
Projet de Conservation des Sols (PCS/ESA II) au Nord Cameroun :**
ABDOULLAYE ABOU ABBA, OUMAROU BALARABE, MAHAMAT ALIFA, DOURWE
GASTON, DAODOU, TOUMBA, MANA JUSTIN, ADOUM YAOUBA

Octobre 2013



cirad



Principes et intérêts du semis direct

Ce volume est adapté du volume I du manuel pratique du semis direct à Madagascar : Husson O, Séguy L, Charpentier H, Rakotondramanana, Michellon R, Raharison T et al. (2012). Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Application à Madagascar. GSDM/CIRAD. Antananarivo. ISBN :978-2-87614-689-1 EAN: 9782876146891





Volume I. Chapitre 1

Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente

**D'après le Manuel pratique du semis direct à Madagascar, adapté par l'équipe du
Projet de Conservation des Sols (PCS/ESA II) au Nord Cameroun :**
ABDOULLAYE ABOU ABBA, OUMAROU BALARABE, MAHAMAT ALIFA, DOURWE
GASTON, DAOUDOU, TOUMBA, MANA JUSTIN, ADOUM YAOUBA

Octobre 2013

Principes et fonctionnement du semis direct

1. Fonctionnement d'un écosystème naturel forestier

Dans un écosystème naturel comme la forêt, le sol n'est jamais perturbé et il est protégé en permanence par un couvert végétal très diversifié, qui crée des conditions favorables (humidité, aération, température, substrat nutritif, etc.) pour une forte activité biologique.

Plantes et organismes du sol très divers vivent en interactions, assurent une forte production de biomasse et remplissent diverses fonctions écosystémiques comme:

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

Le sol vivant

La macrofaune et les micro-organismes jouent un rôle fondamental dans la vie d'un sol. Ils sont indispensables à sa formation: altération de la roche mère, décomposition de la matière organique, processus de minéralisation et de formation d'humus, bioturbation, etc.

Ils jouent également un rôle clef dans la formation et la stabilité des agrégats du sol et donc de sa structure.

La microflore (bactéries, mycorhizes, trichodermes, etc.) est aussi fondamentale pour les processus assurant l'alimentation des plantes:

- minéralisation de la matière organique;
 - fixation d'azote atmosphérique;
 - solubilisation des éléments minéraux par oxydation ou chélation, ce qui les rend assimilables par les plantes;
- extraction d'éléments nutritifs du sol peu mobilisables (modification du pH et du potentiel redox,
- augmentation de la surface d'interception par les mycorhizes, etc.).

Ils sont si importants pour les plantes qu'elles les stimulent par leurs exsudats racinaires, allant jusqu'à «relacher» par rhizodéposition 20 à 50% du carbone capté par photosynthèse. Certaines plantes carencées en phosphore par exemple peuvent, par leurs sécrétions, favoriser de manière préférentielle le développement de bactéries qui extraient le phosphore fixé dans le sol et le solubilisent.

- altération de la roche mère en argiles (plus ou moins rapide en fonction du climat et du type de roche), par les systèmes racinaires puissants et leurs exsudats, les champignons, les micro-organismes du sol, etc.

- fractionnement progressif par la faune des débris végétaux de grosse taille (ce qui les rend accessibles à la microflore), sous l'intervention d'une grande diversité trophique: gros collembolles, diptères, macro-arthropodes, enchytrées, petits collembolles, oribates, etc.

- humification sous l'action des bactéries, la vitesse et les produits de cette humification variant en fonction de la végétation, du climat et de la microflore;

- bioturbation (fonction indispensable à la pédogenèse, mixant ainsi matières minérales et matières organiques, permettant la formation du complexe argilo-humique et les processus d'agrégation du sol) par la faune du sol: vers de terre, fourmis, termites, larves de coléoptères, etc.

- agrégation et stabilisation des agrégats par la faune (bioturbation, activation de la microflore), les champignons (par les mycélium/hyphes), les colonies de bactéries, les exsudats racinaires, polysaccharides, etc.

Ces diverses fonctions, remplies par les plantes et les organismes vivants du sol, permettent d'assurer une pédogenèse active, et de maintenir un sol qui se renouvelle régulièrement. Le turnover important de la matière organique et des éléments nutritifs, et l'absence de pertes par lessivage, permettent d'entretenir de manière durable une forte production, même sur des sols à fertilité réduite. Cette production de biomasse permet quant à elle d'entretenir la pédogenèse. L'écosystème est stable et résilient.

Principes et fonctionnement du semis direct

2. Principes de fonctionnement des écosystèmes cultivés



Principes et fonctionnement du semis direct

2.1. Principes de l'agriculture conventionnelle



Sorgho fortement infesté par le Striga



Contrôle du Striga par crotalaire retusa

L'agriculture conventionnelle est basée sur le travail du sol et les intrants chimiques. Le rôle du sol y est réduit à sa plus simple expression, celui de support physique pour les plantes et de réservoir d'eau et d'éléments nutritifs. La réponse à des contraintes agronomiques diverses se fait essentiellement par l'adaptation des itinéraires techniques qui visent à assurer les différentes fonctions agronomiques fondamentales: restructuration du sol par un travail mécanique; contrôle des adventices par travail du sol et emploi d'herbicides; alimentation des plantes en éléments nutritifs par apports d'engrais chimiques et/ou organiques; alimentation en eau par l'irrigation (quand elle est possible); contrôle des bioagresseurs par utilisation de pesticides. La création variétale et la sélection des plantes vise à valoriser au mieux les intrants et à s'adapter au mieux à ces conditions du milieu qui se dégradent (résistance aux maladies, etc.).

2.2. Principes des systèmes traditionnels d'abattis-brûlis

Les systèmes agricoles traditionnels basés sur l'abattis-brûlis fonctionnent sur la base d'une alternance entre écosystème forestier et systèmes conventionnels avec travail du sol (mais avec un minimum d'apport d'intrants). La dégradation générale de l'écosystème (activité biologique, structure du sol, pression des adventices, etc.), très rapide durant les périodes de culture, est partiellement compensée par la régénération durant les périodes de jachère.

2.3. Principes des écosystèmes cultivés en SCV

Les principes fondamentaux du semis direct sur couverture végétale permanente

Les principes de conduite des écosystèmes cultivés en SCV visent à reproduire le fonctionnement d'un écosystème naturel forestier et en particulier celui de sa litière:

Trois principes fondamentaux

1. Minimiser la perturbation du sol et de la litière (pas de travail mécanique du sol).
2. maintenir le sol couvert en permanence.
3. Produire et restituer au sol une forte biomasse par associations/successions d'une diversité de plantes aux fonctions multiples.

• Minimisation des perturbations du sol et de la litière.

Le sol et la litière doivent être perturbés au minimum. Ils ne sont donc pas travaillés. Le semis est réalisé directement à travers la couverture végétale en perturbant et en découvrant le sol au minimum (3 à 10 % en fonction de la maîtrise et de la nature des outils de semis direct) par ouverture de poquets (semis manuel) ou de lignes (semis mécanisé). La faible perturbation du sol est favorable au développement de l'activité biologique, ralentit la minéralisation et permet de maintenir la couverture végétale.

• Couverture permanente et totale du sol.

Le sol est maintenu en permanence protégé sous une épaisse couverture végétale qui peut être morte (les résidus de récolte, les adventices et/ou les plantes de couverture sont totalement contrôlés avant la mise en place de la culture) ou maintenue vivante (une couverture végétale pérenne est simplement contrôlée le temps de la culture, sans être tuée, ce qui lui permet de poursuivre sa croissance après la récolte de la culture). Cette couverture végétale protège le sol en permanence contre l'érosion, entretient des conditions favorables au développement d'une activité biologique intense et contribue à réduire la pression des adventices.

Principes et fonctionnement du semis direct

- Production et restitution au sol d'une forte biomasse.

La biomasse est renouvelée annuellement (ce qui permet de maintenir la couverture du sol malgré la minéralisation) par diverses plantes (cultures et plantes de couverture) multifonctionnelles, conduites en association et/ou en succession et qui remplissent des fonctions éco systémiques diverses.

L'écosystème cultivé en SCV est cependant intensifié par rapport à un écosystème naturel, pour permettre la production de cultures et/ou de fourrages qui sont exportés (ce qui implique en retour des apports pour restituer les éléments nutritifs prélevés par le système).

Ces trois principes permettent de construire trois "piliers":

Les trois "piliers" du semis direct sur couverture végétale

1. Le premier "pilier" des SCV, est donc la couverture végétale permanente du sol (alimentée par une forte production de biomasse, et non perturbée en l'absence de travail du sol). L'épaisse litière ainsi constituée protège le sol et modifie la dynamique de la matière organique, de l'eau et des éléments nutritifs;

2. Le deuxième "pilier" des SCV est constitué par la diversité des plantes (associées ou en succession dans les systèmes SCV selon le troisième principe) qui remplissent de multiples fonctions. Elles assurent en particulier la production de biomasse aérienne (alimentation de la litière) et racinaire (exploration d'un important volume de sol, production de biomasse souterraine, restructuration du sol, mobilisation et recyclage des éléments nutritifs, etc.)

3. Le troisième "pilier" des SCV est la forte activité biologique du sol (faune et microflore), rendue possible par les deux premiers "piliers" qui alimentent le sol en matière organique et favorisent le développement des organismes, en:

- restructurant et aérant le sol par les systèmes racinaires puissants;
- maintenant l'humidité (faible ruissellement, forte infiltration et stockage, évaporation limitée) et tamponnant les températures par la couverture végétale;
- fournissant un substrat énergétique: la matière organique fraîche (au niveau de la litière en décomposition et des racines après la mort des plantes) et les exsudats (sucres, hormones, enzymes, etc.) émis par les jeunes racines.

En retour, cette forte activité biologique contribue à améliorer et stabiliser la structure du sol (structuration et stabilisation des agrégats du sol par la macrofaune, les champignons du sol, les colonies de bactéries, etc.). Elle est essentielle dans la genèse des sols et joue un rôle fondamental dans les cycles des éléments nutritifs, aussi bien au niveau de la litière (cycle de la matière organique: minéralisation, humification et séquestration de carbone, accumulation d'azote organique ; solubilisation des éléments nutritifs par oxydation ou chélation) que du complexe absorbant (nature des bases et rétention). Elle renforce le deuxième "pilier" (les plantes multifonctionnelles) qui alimente le premier (la litière). Ces trois "piliers" (couverture végétale/litière + plantes multifonctionnelles/racines + activité biologique associée) se renforcent mutuellement. Ils permettent aux SCV, par leur nature et leur quantité sans cesse renouvelées (biodiversité fonctionnelle), de remplir des fonctions multiples et complémentaires, communes à tous les SCV mais d'intensité variable en fonction des systèmes et de leurs conditions de réalisation (qualité et quantité de la biomasse produite et restituée au sol).

La couverture végétale / litière

La couverture végétale du sol/litière est fondamentale pour le bon fonctionnement des SCV.

Elle doit être maintenue aussi totale que possible, de manière aussi continue que possible.

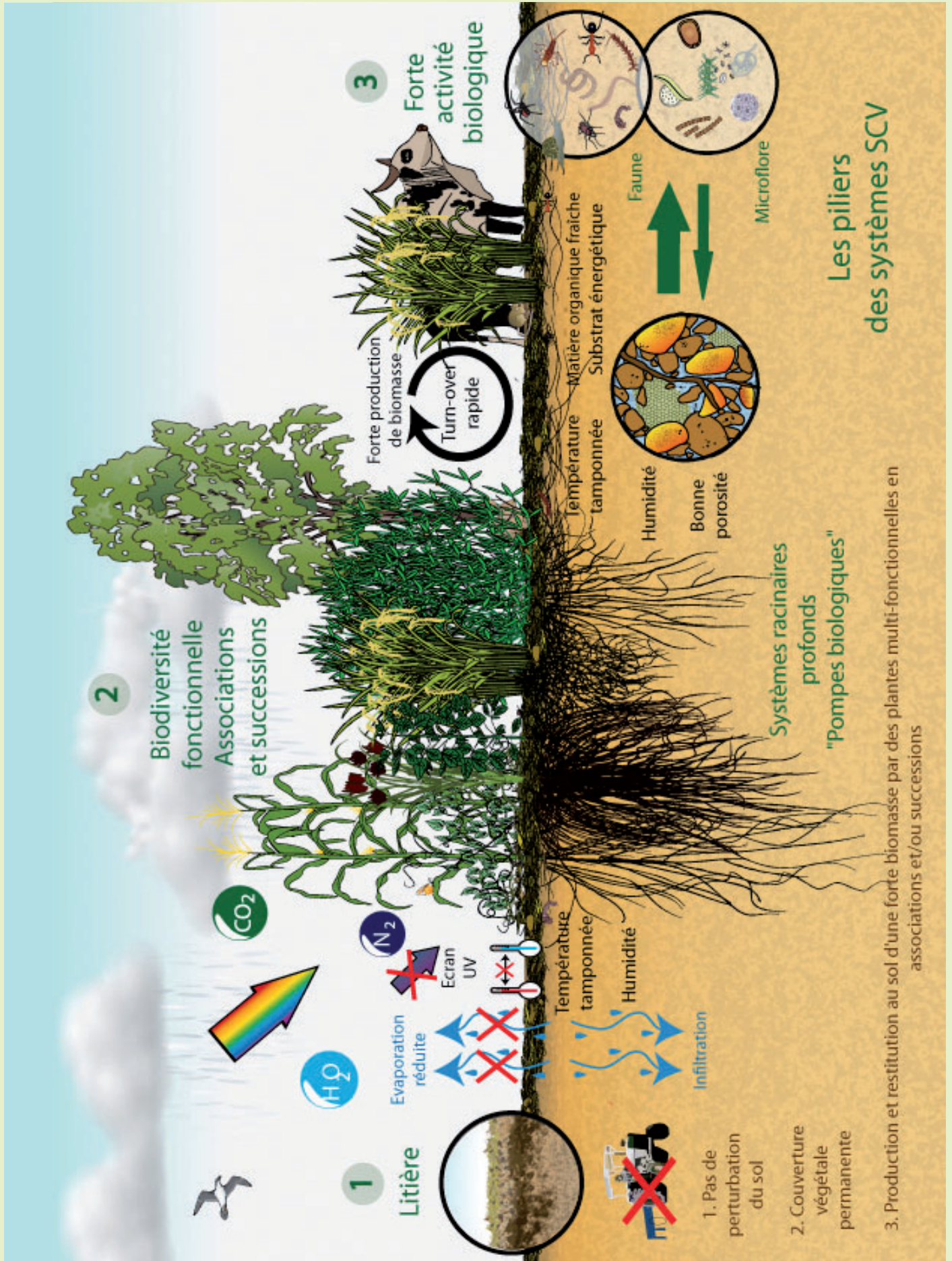
Elle est composée des résidus de récolte auxquels s'ajoute la matière sèche, souvent prépondérante en quantité et en biodiversité, provenant des plantes associées à la culture principale ou pratiquées en succession annuelle.

Elle peut être difficile à maintenir dans des conditions climatiques exceptionnelles, qui peuvent limiter fortement la croissance des plantes.

Elle peut à l'inverse être très épaisse, composée parfois des résidus de biomasse issus de plusieurs années successives, en fonction de la quantité et de la qualité de la biomasse et des conditions climatiques.

Cet approvisionnement régulier et ce maintien en permanence d'une couverture végétale, sans perturbation du sol, distinguent les SCV de la plupart des techniques parfois regroupées sous le vocable d'agriculture de conservation, dont les Techniques Culturelles Simplifiées (TCS).

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

3. Le fonctionnement des écosystèmes cultivés

3.1. Dynamique de la matière organique

La matière organique du sol

Dans un écosystème à forte production végétale, de qualité diverse, la phytomasse produite permet d'entretenir la litière, dont la décomposition par les organismes vivants contribue largement: i) à la nutrition des plantes (qui permet d'assurer la forte production de biomasse) et, ii) au stockage de carbone dans le sol sous des formes plus ou moins stables, en relation avec l'agrégation des particules.

On distingue:

1. Le réservoir "actif" ou "labile", constitué des composés organiques facilement oxydables dérivés de fragments végétaux récents (sucres, amidons, et protéines simples, protéines interstratifiées, polysaccharides et hémicellulose). Il est principalement contrôlé par l'apport de résidus et le climat, et est fortement affecté par le mode de gestion du sol. En milieu tropical, ce réservoir a deux fonctions principales: i) assurer l'alimentation en nutriments et, ii) fournir les composés organiques, agents d'agrégation du sol et de rétention de cations.

2. Le réservoir "lentement oxydable" en relation avec les macro-agrégats est affecté par le mode de gestion du sol.

3. Le réservoir "très lentement oxydable", en relation avec les micro-agrégats, est peu affecté par le mode de gestion du sol.

4. Le réservoir "passif" ou "récalcitrant", forme très stable en relation avec le carbone associé aux particules primaires du sol, contrôlé par la minéralogie de la fraction argileuse. Ce réservoir n'est influencé (à l'échelle de la parcelle) par le mode de gestion que dans la mesure où celui-ci engendre un transport par érosion.

Ces différents réservoirs de la matière organique subissent des transformations, selon différentes voies, en fonction du matériel et des conditions de milieu:

- humification par héritage pour les grosses molécules (poly phénols, lignine), peu attaquées par les micro-

Une diversité de plantes aux fonctions multiples

Les associations et successions de cultures jouent un rôle clef dans le fonctionnement des SCV. Les différentes plantes utilisées dans les systèmes permettent d'optimiser la production de biomasse et de remplir un certain nombre de fonctions éco systémiques : structuration et protection du sol, séquestration de carbone, recyclage et stockage des éléments nutritifs, contrôle des adventices et des bio agresseurs, etc.

Elles favorisent également le développement d'une forte activité biologique qui contribue à assurer ces fonctions. Les systèmes sont construits pour remplir au mieux les fonctions prioritaires dans un contexte donné, en choisissant les plantes les plus aptes à lever les contraintes agronomiques les plus militantes.

L'insertion dans les systèmes de plantes aux systèmes racinaires puissants et profonds permet en particulier d'optimiser les fonctions fondamentales de restructuration des sols et de recyclage des éléments nutritifs et de l'eau (rôle de "pompes biologiques").

Importance de la matière organique

La matière organique du sol joue un rôle fondamental dans :

- la structure du sol et sa stabilité (liant des particules minérales dans le complexe argilo-humique, contributions aux agrégats, etc.);
- la rétention de l'eau et sa disponibilité pour les plantes;
- le stockage et la mise à disposition des éléments nutritifs (forte contribution à la CEC, produits de la minéralisation, etc.) ;
- la régulation du pH du sol (effet tampon);
- la stimulation de l'activité biologique (substrat énergétique et supports);
- la rétention des micropolluants (améliorant leur dégradation), etc.

Principes et fonctionnement du semis direct

organismes;

- humification par polycondensation des composés phénoliques, issus directement de la décomposition des tissus végétaux;
- humification par néosynthèse par les micro-organismes du sol, utilisant les (petites) molécules issues de la dégradation des matières organiques fraîches pour former de nouveaux composés plus résistants: les polysaccharides (qui jouent un rôle important dans l'agrégation).

La litière étant régulièrement alimentée en matière organique de qualité diverse (et donc à vitesse de minéralisation variée), la minéralisation est ininterrompue et libère en continu des éléments nutritifs solubles, qui permettent une nutrition régulière des plantes.

Les produits issus de l'humification de la matière organique (acides humiques, etc.) vont être étroitement associés par des cations polyvalents (Ca^{2+} , hydroxydes de fer et d'alumine) aux argiles (issues de l'altération de la roche mère) dans le complexe argilo-humique, alimentant le réservoir passif de la matière organique. Cette fraction fine, très stable (durée de vie de 1000 ans) est progressivement agrégée:

- dans les micro-agrégats ($< 250 \mu\text{m}$), avec des limons, et des particules fines de matière organique issues de la décomposition des végétaux et enrobées d'argiles, solidement liés par les racines des plantes, les hyphes et mycélium des champignons et les polysaccharides produits par les micro-organismes et les champignons stimulés par les exsudats racinaires;

- dans les macroagréats, moins stables que les micro-agrégats (et dans lesquels la matière organique est moins protégée physiquement), agrégeant micro-agrégats, fraction intermédiaire de la matière organique ($50\text{-}200 \mu\text{m}$: fragments de feuilles et de racines), colonies de bactéries et grains de sable sous l'effet liant des hyphes/mycélium des champignons du sol, des polysaccharides, et des racines des plantes.

Vitesse de décomposition des résidus

La vitesse de minéralisation dépend fortement de la qualité de la matière organique fraîche. Les résidus riches en sucres, amidons et protéines simples (et dans une moindre mesure en protéines interstratifiées et en polysaccharides), à ratio C/N bas, se décomposent beaucoup plus rapidement que ceux riches en hémicellulose et cellulose, au ratio C/N plus élevé. Les plus grosses molécules comme les corps gras et les cires, et surtout les polyphénols et la lignine, avec leurs noyaux aromatiques, se décomposent beaucoup plus lentement.

Elle dépend également de l'activité de la microflore et donc des conditions du milieu (aération, humidité, température), du type de sol et des surfaces "d'attaque" (taille des fragments).

La minéralisation est relativement lente durant les périodes sèches et/ou dans les milieux froids (comme dans les climats tempérés). Elle est en revanche particulièrement rapide en milieu tropical humide et chaud toute l'année.

Le labour (et les TCS) accélèrent les processus de minéralisation en fragmentant les résidus, en déstructurant les macro-agrégats (exposant ainsi la matière organique qui était protégée à l'intérieur), en créant (temporairement) un apport brutal d'oxygène et en rendant possible l'élévation de la température du sol. La vitesse de minéralisation n'est alors limitée (éventuellement) que par l'humidité et/ou la température (en milieu tempéré).

La faune du sol, et en particulier les vers de terre, jouent un rôle fondamental dans ces processus d'agrégation. Ils assurent la bioturbation du sol, et ainsi la mise en contact des fractions minérales (argiles, limons, sables) et organiques du sol. Ils contribuent non seulement à la création des agrégats (action mécanique de mélange) mais aussi à leur stabilisation (alternance sécheresse-humidité, activation des micro-organismes, etc.).

Ce processus d'agrégation (et donc de séquestration de carbone) est continu, et son taux est directement proportionnel à la restitution de la matière organique (racines, tiges, feuilles, pailles) en quantité et qualité.

La dynamique de la matière organique est ainsi fondamentalement différente entre une agriculture avec travail du sol et des systèmes SCV bien gérés.

Dynamique de la matière organique dans les systèmes conventionnels avec travail du sol

Les systèmes conventionnels se distinguent par:

- le travail du sol qui entraîne une minéralisation

Principes et fonctionnement du semis direct

irrégulière, avec des pics de minéralisation très rapides;

- une production de biomasse relativement faible (production d'un faible nombre d'espèces, sur une période limitée, alimentation irrégulière et déséquilibrée des plantes, etc.);
- des résidus peu variés, à C/N relativement faible, qui se décomposent rapidement et en conséquence produisent peu d'humus;
- une matière organique peu protégée du fait de la faible agrégation;
- une érosion souvent forte, engendrée par les pratiques déstructurantes du sol et un fort ruissellement qui fait que même les fractions les plus stables de la matière organique peuvent être exportées de la parcelle.

Les résidus de récolte, même s'ils sont entièrement maintenus sur la parcelle, sont en général insuffisants pour maintenir le stock de carbone du sol, en particulier en milieu tropical où la minéralisation est très rapide. De plus, cette biomasse est très souvent exportée ou brûlée, ce qui fait que les restitutions de carbone au sol dans les systèmes conventionnels sont très faibles. Elles ne permettent pas d'alimenter les différents réservoirs de matière organique (y compris le réservoir actif de la faune et de la microflore). Il en résulte une discontinuité du processus de transformation du compartiment actif, avec une réduction du flux de C vers le réservoir stable de la matière organique du sol.

Dynamique de la matière organique dans un écosystème cultivé en SCV

A l'inverse des systèmes conventionnels, le semis direct sur couverture végétale permanente se caractérise par:

- la production et la restitution régulière d'une très forte biomasse, de qualité variée, alimentant les différents réservoirs de matière organique du sol et entretenant un flux continu de carbone du réservoir actif vers le réservoir stable;
- une minéralisation régulière et ralentie du fait de la non perturbation de la litière (pas de fractionnement mécanique des résidus, protection des différentes couches d'apports successifs à la vitesse de décomposition variée et peu exposées aux processus microbiens, pas de flux d'oxygène brutaux, température tamponnée);
- des agrégats: formation de complexe argilo-humique, protection de la fraction stable du carbone (<53µm) fortement liée dans les micro-agrégats (<250µm), protection des micro-agrégats dans les macro-agrégats, etc.

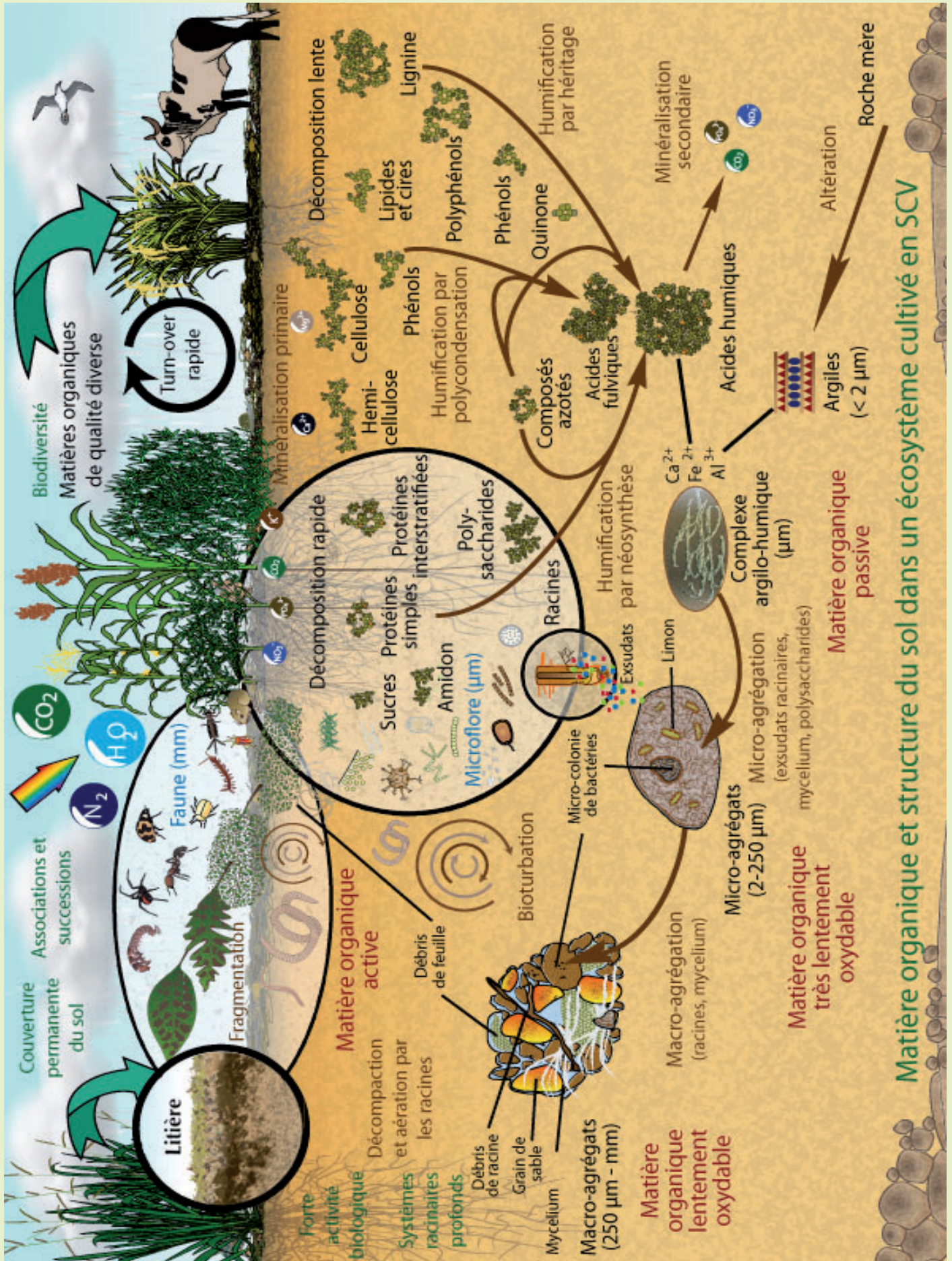
Activité biologique et vitesse de minéralisation

La faiblesse des apports de matière organique fraîche dans les systèmes conventionnels, et l'exposition de cette matière organique à C/N bas, expliquent que malgré une minéralisation rapide dans ces sols, l'activité biologique y est globalement faible : cette activité biologique est concentrée autour des fragments de matière organique, pas ou peu protégés, et relativement peu nombreux.

A l'inverse, dans les sols conduits en SCV, les forts apports de matière organique fraîche (aérienne et racinaire) offrent un substrat abondant à la macrofaune et aux micro-organismes du sol. L'activité biologique (qui ne se limite pas à la minéralisation de la matière organique) y est mieux répartie et globalement beaucoup plus intense, bien que les processus de minéralisation de la matière organique (à C/N élevé et protégée dans les agrégats et/ou la litière) y soient plus lents.

La forte production de biomasse et l'intense activité biologique permettent un fonctionnement dynamique de la matière organique en relation avec les processus d'agrégation. La matière fraîche (réservoir temporaire) subit les processus de minéralisation (alimentation des plantes qui vont, elles mêmes alimenter la litière) et d'humification (alimentation du réservoir transitoire et du réservoir stable de la matière organique). Ces réservoirs de matière organique sont plus ou moins protégés dans les agrégats, en relation avec leur taille. Ces processus (avec en premier lieu la forte production de biomasse) conduisent à la séquestration du carbone dans le sol et rendent un service écosystémique fondamental à l'échelle de la planète.

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

3.2 Structure du sol

Structure du sol dans les systèmes conventionnels

Les systèmes conventionnels cherchent à assurer une bonne structure du sol par un travail mécanique avant la mise en place des cultures. Si cette pratique est relativement simple à mettre en œuvre (bien que parfois très exigeante en travail), elle comporte de nombreux inconvénients à moyen terme :

- l'amélioration de la structure reste limitée aux horizons travaillés, et est donc superficielle. La création d'une semelle de labour, fréquente avec ces pratiques, empêche la pénétration de l'eau et des racines en profondeur;
- son impact très négatif sur l'activité biologique et la matière organique font que la stabilité de cette structure du sol ne peut être assurée. Les processus d'agrégation ne peuvent pas fonctionner et la structure se dégrade rapidement. L'amélioration de la structure par un travail mécanique n'est donc que très temporaire;
- le sol nu est exposé à l'érosion (éolienne, aratoire ou par ruissellement), et peut s'indurer en surface (en particulier après une forte pluie sur travail du sol trop "fin", avec rupture des agrégats) ou former une croûte de battance (sur les sols "battants").

Structure du sol dans les écosystèmes cultivés en SCV

En semis direct, comme dans un écosystème naturel, la création et le maintien d'une bonne structure du sol sont assurés par :

- la couverture végétale permanente du sol qui remplit la fonction de protection du sol contre l'impact des gouttes d'eau (à forte énergie cinétique), contre l'érosion éolienne et/ou hydrique, et contre le rayonnement du soleil (qui assèche le sol, engendre une forte amplitude thermique et dont les UV sont nuisibles aux organismes biologiques);
- l'aération du sol et sa restructuration par la macrofaune (vers de terre, termites, fourmis, collemboles, macroarthropodes, etc.) et par les systèmes racinaires puissants des plantes utilisées dans les associations et successions (avec en particulier le travail des racines des plantes cultivées en saison sèche). Les systèmes racinaires très denses en surface jouent également le rôle d'une armature flexible et résiliente, et limitent l'impact de la compaction par le passage d'engins lourds en agriculture mécanisée;
- l'incorporation de matière organique dans le sol: en surface au niveau de la litière, et en profondeur par les racines. Cette matière organique, de qualité variée (des sucres et protéines

Taux de renouvellement de la matière organique

Dans les systèmes conventionnels, la production limitée et la faible restitution au sol de biomasse à C/N bas, associées à une minéralisation irrégulière avec des pics très forts (après labour), font que la matière organique se renouvelle peu et que les pertes sont importantes (et accrues par l'érosion). Il est très difficile dans ces conditions de maintenir un taux de matière organique propice à la production agricole.

A l'inverse, dans les systèmes menés en SCV, les fortes productions et restitutions de biomasse et la création de conditions conduisant à une minéralisation lente et régulière, permettent un turn-over rapide et important de la matière organique et, en conséquence, l'amélioration ou au moins l'entretien du statut organique du sol.

Cela ne signifie pas pour autant que les systèmes en SCV minéralisent moins de matière organique que les systèmes conventionnels: la quantité minéralisée dépend pour beaucoup du taux de matière organique du sol, qui est plus élevé sous SCV qu'en système conventionnel!

En résumé, les systèmes conventionnels minéralisent rapidement une faible quantité de biomasse et produisent peu d'humus, alors que les systèmes en SCV minéralisent lentement une grande quantité de biomasse et produisent beaucoup plus d'humus.

Macroporosité et microporosité

La macroporosité du sol, qui permet une bonne infiltration et un drainage rapide de l'eau, résulte avant tout du travail par les grosses racines et de l'activité de la macrofaune. La microporosité du sol, qui permet le stockage de l'eau, est liée aux processus d'agrégation et à l'activité des petites racines.

Principes et fonctionnement du semis direct

simples, facilement décomposables jusqu'à la lignine, grosses molécules lentement décomposées, avec une dominance en semis direct de cellulose) va alimenter les différents réservoirs de la matière organique du sol, plus ou moins stables;

- la formation et la stabilisation des agrégats grâce à une activité biologique intense (rôle de liant de la microflore et bioturbation par la macrofaune), un système racinaire dense et des apports réguliers de biomasse qui constituent à la fois un substrat énergétique pour ces organismes et la matière première de l'humification.

Le travail mécanique du sol des systèmes conventionnels (avec ses effets négatifs) est ainsi remplacé par un travail biologique dans un sol vivant, qui permet le stockage et la protection de la matière organique du sol dans des agrégats stables.

3.3. Fertilité des écosystèmes cultivés

Fertilité des systèmes conventionnels

Dans les systèmes conventionnels, la baisse progressive de la capacité de stockage des éléments nutritifs dans le sol (en particulier du fait de la baisse du taux de matière organique qui influence fortement la capacité d'échange cationique du sol) fait qu'une partie considérable des éléments nutritifs doit être apportée aux cultures, parfois même sans passer par le sol comme dans le cas des engrais foliaires. Les pertes par ruissellement superficiel et lixiviation sont fortes du fait de la grande solubilité de certains engrais, de la rapide minéralisation de la matière organique et du faible enracinement des plantes, tout comme celles liées à l'érosion (facilitée par le travail du sol) et celles par volatilisation sur un sol nu exposé à des températures élevées. La fertilité du système est peu stable et ses performances reposent largement sur des apports extérieurs (quand ils sont accessibles aux agriculteurs). Elles chutent rapidement après l'arrêt des apports d'engrais, d'autant plus que les autres composantes de la fertilité du système "sol" sont souvent défaillantes (en particulier du fait de la faible activité biologique, du faible taux de matière organique et de l'instabilité de la structure du sol), et que les pertes du système sont importantes.



Association maïs + *Crotalaria retusa*

Fertilité des écosystèmes cultivés en SCV

Dans les écosystèmes cultivés en SCV, les éléments nutritifs sont, comme dans un écosystème forestier, concentrés majoritairement dans la biomasse (phytomasse, litière et microflore du sol) qui approvisionne les horizons superficiels du sol. Les plantes cultivées puisent la majeure partie des éléments nutritifs qui leurs sont nécessaires dans les premiers centimètres du sol. La fertilité est globale au système sol/plantes et n'est pas limitée au sol. Grâce aux réserves (dans la phytomasse et la matière organique du sol) et aux faibles pertes, la fertilité des systèmes SCV est stable. Le maintien de cette fertilité est assuré par:

- un renouvellement rapide de la matière organique, assuré par une forte production de phytomasse et une activité biologique intense qui permettent d'optimiser les processus d'humification

et de minéralisation. Grâce à ce turn-over rapide, la production annuelle de biomasse peut être importante, même sur des milieux pauvres;

- un taux de matière organique élevé (entretenu par la forte production de biomasse) et en conséquence une capacité d'échange cationique (CEC) élevée, un pouvoir tampon et une capacité de rétention des éléments nutritifs importants;

- la fixation d'azote atmosphérique, par des légumineuses mais aussi par des bactéries libres (type *Azotobacter sp.*, *Azospirillum sp.*, *Arthrobacter sp.*, etc.) et/ou des champignons du type trichodermes et actinomycètes, stimulés par les exsudats racinaires des plantes (comme l'espèce *Eleusine coracana* ou les brachiarias pour *Azotobacter sp.*);
- la solubilisation des éléments nutritifs par oxydation ou chélation, sous l'action des bactéries qui se développent dans un environnement favorable (porosité, aération, humidité, substrat énergétique, etc.) et riche en matière organique.

Principes et fonctionnement du semis direct

- l'extraction des éléments fixés ou en très faible quantité dans le sol, par association des plantes avec des mycorhizes et/ou stimulation sélective (par les exsudats racinaires) de populations de champignons et/ou de bactéries libres du sol capables de remplir cette fonction de mobilisation des éléments nutritifs. Cette mobilisation est assurée par les champignons du genre *Trichoderma* et les bactéries des genres *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Rhizobium*, *Burkholderia* pour le phosphore ; les bactéries du genre *Bacillus* pour le potassium et le manganèse et *Thiobacillus* pour le cuivre, etc.). Cette fonction est spécifique des "pompes biologiques", plantes utilisées en couverture qui ont des aptitudes variées à influencer le milieu (potentiel redox, pH, etc.) et stimuler les différentes populations de la microflore;
- le maintien d'une structure favorable à l'enracinement des plantes en profondeur, ce qui permet l'exploration d'un grand volume de sol; une minimalisation des pertes, que ce soit par érosion, grâce à la protection du sol par la couverture végétale permanente;
 - par lessivage, grâce à la stabilisation des argiles dans le complexe argilo-humique;
 - par lixiviation des sels solubles, grâce au recyclage des éléments nutritifs par des "pompes biologiques", plantes au système racinaire qui se développe en profondeur (en particulier durant la saison sèche pour puiser l'eau);
 - par volatilisation (CH_4 , N_2O , SO_2 , etc.), grâce à la couverture végétale (températures tamponnées) et le fonctionnement aérobie de la microflore dans un milieu bien aéré, etc.

La capacité à limiter ces pertes dépend cependant des systèmes SCV mis en place. Les meilleurs systèmes qui associent une très forte production de biomasse tout au long de l'année (et en particulier lors des pics de minéralisation), l'utilisation de plantes aux systèmes racinaires très profonds (en particulier en saison sèche) et l'apport de fertilisation minérale sur les plantes de couverture (au système racinaire profond) plutôt que sur la culture ont des niveaux de pertes très faibles, voire nuls. Au delà d'une amélioration de la fertilité des sols, certains couverts végétaux (graminées du genre *Brachiaria* et légumineuses des genres *Cassia* et *Stylosanthes* en particulier) permettent de remplir (via leur forte production de biomasse même en condition de forte acidité, qu'ils tolèrent très bien) une fonction de neutralisation de l'acidité (et par là de l'aluminium) même sur les sols ferrallitiques les plus désaturés.



Forte activité biologique autour des racines de *Brachiaria brizantha*

Cependant, à la différence d'un écosystème forestier naturel sans aucune sortie d'éléments nutritifs du système quand il n'est pas exploité, un écosystème cultivé sous SCV subit des pertes d'éléments nutritifs par exportation des productions. La gestion de la fertilité passe donc par un retour au système (sol + phytomasse) des éléments exportés, sous forme organique (fumier, compost) ou minérale (engrais chimiques).

3.4. Alimentation des plantes (en éléments nutritifs)

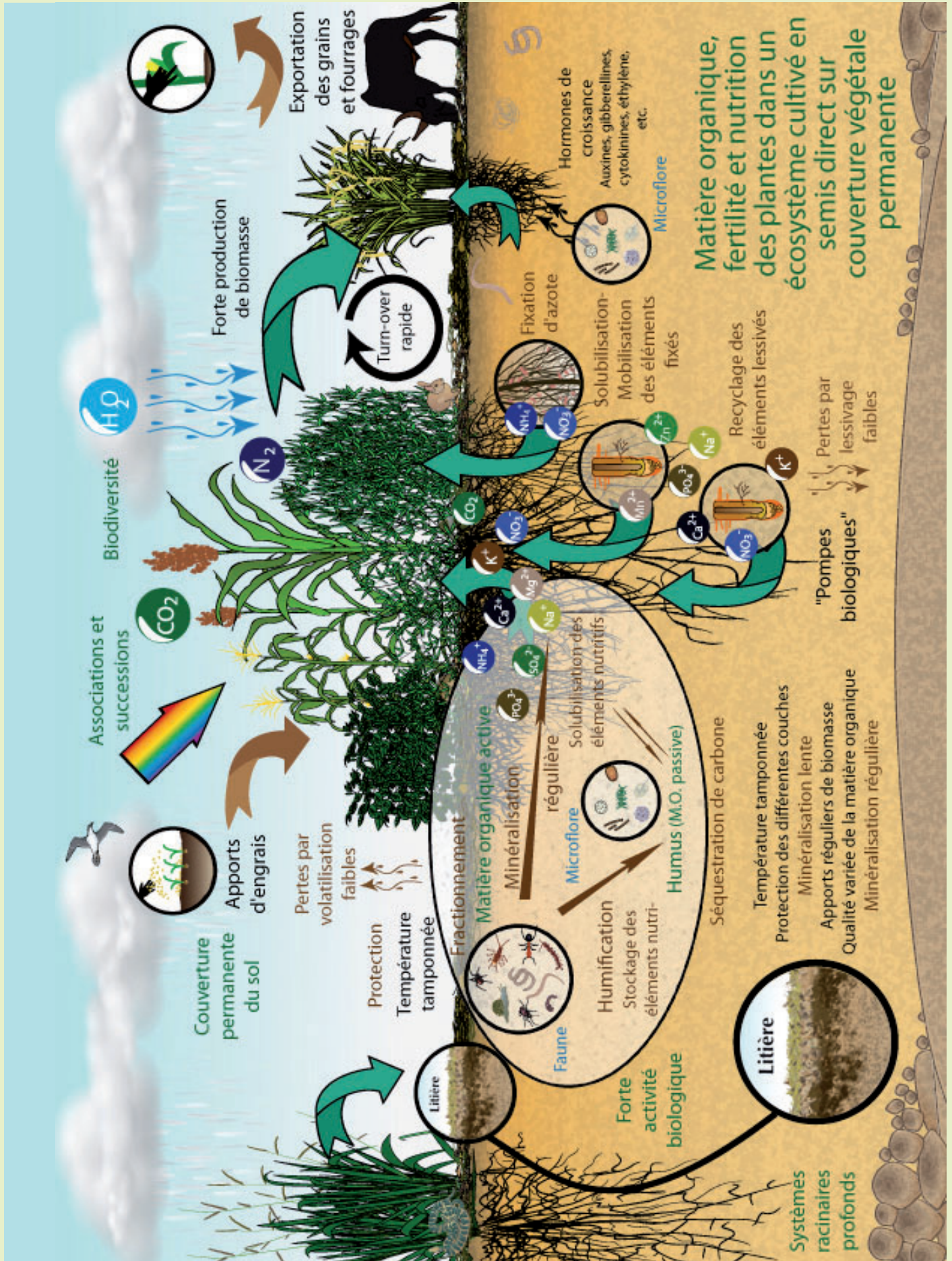
Alimentation irrégulière et déséquilibrée dans les systèmes conventionnels

En agriculture conventionnelle, la nutrition des plantes est très dépendante des apports extérieurs d'éléments fertilisants. Des apports au sol sous forme organique (fumier, lisier, compost) permettent de limiter les pertes de matière organique du système et apportent les éléments nutritifs

Les "pompes biologiques"

Les "pompes biologiques" sont des espèces insérées dans les systèmes et qui remplissent (entre autres) une fonction fondamentale de recyclage et de mobilisation des éléments nutritifs. Par leur système racinaire puissant et profond, leur association avec des mycorhizes et/ou leur stimulation de populations spécifiques de bactéries, elles sont capables de recycler les éléments nutritifs lixiviés en profondeur, d'extraire les éléments peu disponibles et de les transformer en une importante biomasse qui rejoint la litière du sol et permet, au final, d'alimenter les plantes cultivées. Le mil par exemple est un excellent recycleur de potasse, alors que l'espèce *Stylosanthes guianensis* est capable de recycler les bases (en particulier le calcium) et les oligo-éléments (B, Cu, Zn, Mn, etc.) et de mobiliser le phosphore.

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

aux plantes de manière relativement régulière. Ils sont cependant souvent difficiles à gérer (disponibilité, difficultés de transport et d'épandage, etc.). Quand, comme très souvent en agriculture conventionnelle, ces apports se font sous forme essentiellement d'engrais minéraux (plus faciles à manipuler), la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes est très irrégulière. On observe un pic après les applications (ce qui entraîne des pertes par lixiviation et ruissellement) puis des manques par la suite. L'équilibre de cette alimentation des plantes est également dépendant des apports et est difficile à atteindre.

Alimentation régulière et équilibrée dans les écosystèmes cultivés en SCV

La gestion des systèmes en SCV permet d'accroître rapidement la fertilité du sol, et en particulier la quantité d'éléments nutritifs disponibles pour les cultures. Ils permettent d'améliorer leur alimentation de manière générale.

Ces systèmes permettent en particulier une alimentation régulière et équilibrée des plantes grâce à une décomposition et une minéralisation progressives de la biomasse, obtenues par :

- une régularité des apports de phytomasse;
- une diversité de la qualité des apports, avec des vitesses de minéralisation différenciées des plantes utilisées pour constituer les couvertures végétales. Une couverture végétale à base de légumineuses se minéralise rapidement (en particulier leurs feuilles très riches en azote) et restitue au sol les éléments nutritifs qui peuvent être directement utilisés par les cultures suivantes dès le début de leur cycle. A l'inverse, les graminées au ratio C/N et à la teneur en lignine et polyphénols élevés, en particulier celles à grosses tiges (sorgho, maïs, mil) se décomposent lentement et libèrent les éléments nutritifs plus tard, permettant l'alimentation des cultures suivantes plusieurs mois après leur apport à la litière;
- la non perturbation du sol qui permet de maintenir une protection des couches supérieures de la litière, alors que les couches en contact avec le sol sont minéralisées.

Au delà de son rôle fondamental dans les processus de minéralisation de la matière organique, qui permet une alimentation régulière des plantes, la microflore (et en particulier les bactéries, les mycorhizes et les trichodermes) augmente la quantité d'éléments nutritifs accessibles aux plantes (très forte augmentation de la surface d'échanges comme dans les associations symbiotiques avec les mycorhizes, solubilisation par les bactéries, etc.).

3.5. Bilan hydrique (et alimentation des plantes en eau)

Faible efficacité de l'utilisation de l'eau par les systèmes conventionnels

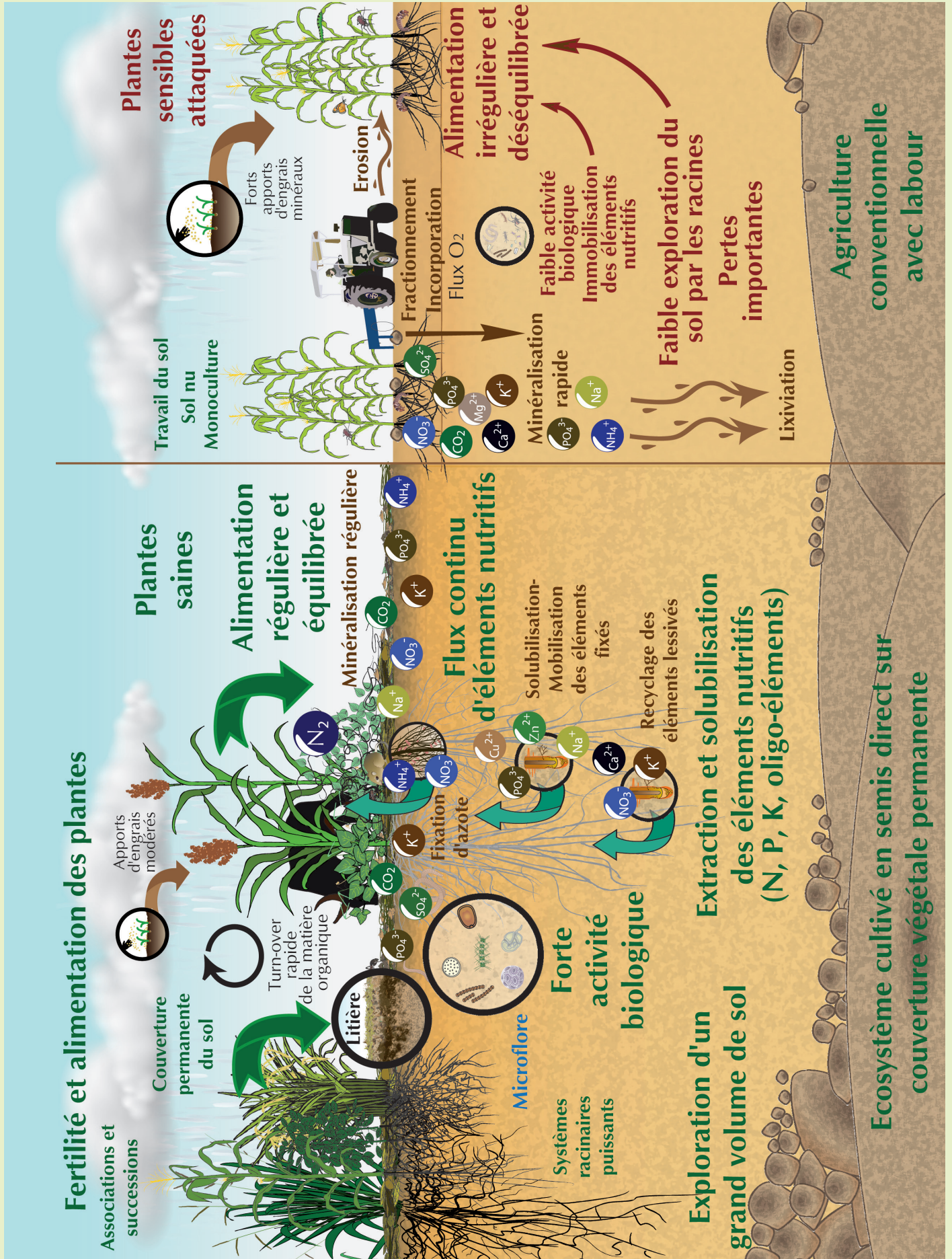
Les pratiques conventionnelles, avec labour et sol nu, engendrent un ruissellement important, une faible infiltration de l'eau (due à la perte rapide de la macroporosité reconstituée par le labour) et une forte évaporation (liée à la forte température du sol en surface). La faible microporosité n'est pas propice à un bon stockage de l'eau dans le sol, ce qui fait que la réserve en eau est faible. De plus, la création fréquente d'une semelle de labour sous travail répété du sol constitue un frein à l'enracinement en profondeur des plantes. Le volume de sol exploré par les racines est faible et en conséquence la réserve utile en eau est très faible.

La nutrition des plantes

Le carbone (42 à 50%), l'hydrogène (6%) et l'oxygène (42 à 44%), issus de la photosynthèse à partir du gaz carbonique et de l'eau, représentent en moyenne plus de 95% de la matière sèche d'une plante. L'azote représente 1 à 2% de cette matière sèche, et provient directement ou indirectement de l'air, fixé par voie biologique (bactéries) ou chimique (engrais azotés). Mis à part une partie du soufre (0,4% des plantes) qui provient également de l'air (SO₂), tous les éléments minéraux des plantes proviennent du sol. Avec C, O, H, N et S, le potassium (2 à 2,5%), le calcium (1 à 1,5%), le phosphore (0,4%) et le magnésium (0,4%), c'est à dire les macroéléments majeurs, constituent plus de 99% de la matière sèche des plantes. Les autres macroéléments (Cl, Na, Si) et les oligo-éléments (B, Cu, Mn, Fe, Mo, Co, etc.) représentent moins de 1% de la matière sèche totale.

Tous ces éléments minéraux (cations ou anions) sont absorbés dans la solution du sol par les racines. Ils sont solubles, et donc assimilables par les plantes, sous leur forme oxydée (cas de N, P, S, Ca, Mg et Se), ou chélatée (pour les autres).

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

Dans de telles conditions, l'alimentation hydrique des plantes dépend très fortement de la régularité des apports en eau. En culture pluviale sans accès à l'irrigation, la croissance des plantes est rapidement limitée après quelques jours sans pluies, en particulier durant les stades sensibles des cultures comme la floraison.

Optimisation de l'utilisation de l'eau par les systèmes SCV

Dans les systèmes SCV, la couverture végétale permet de réduire fortement le ruissellement et laisse plus de temps à l'eau pour s'infiltrer. De plus, l'infiltration est rapide du fait de la bonne macroporosité créée et entretenue par la pratique du semis direct. Cette infiltration rapide permet d'éviter l'engorgement en cas de précipitations abondantes (effet "chasse d'eau").

La microporosité également créée et entretenue par les pratiques SCV offre au sol une forte capacité de stockage (ce qui limite le lessivage malgré la forte infiltration). Une forte infiltration et une capacité de stockage élevée conduisent à la constitution d'une réserve en eau importante. Cette réserve en eau est facilement accessible pour les plantes qui développent en SCV des systèmes racinaires profonds dans un sol bien structuré. La réserve utile en eau est en conséquence très importante.

Outre la réduction des pertes par ruissellement, le semis direct permet de réduire les pertes en eau par:

- réduction de l'évaporation, par la couverture végétale;
- réduction des pertes par lessivage, du fait de l'utilisation de l'eau profonde par les systèmes racinaires profonds, en particulier durant les périodes sèches (remontées capillaires);

Les aléas climatiques sont ainsi tamponnés. Les pertes en eau sont réduites ; les réserves d'eau importantes utilisables en cas de période de sécheresse et l'infiltration rapide durant les périodes fortement arrosées. De plus, le semis direct permet de semer les cultures dès les premières pluies utiles et ainsi de caler le cycle des cultures sur la période climatique la plus favorable (ce qui est particulièrement intéressant dans les climats à longue saison sèche). Enfin, la condensation de la rosée est beaucoup plus importante sur une couverture végétale (surfaces d'interception plus importantes) que sur un sol nu. Ces "précipitations occultes" peuvent contribuer largement à l'alimentation en eau des plantes dans des milieux à faible pluviométrie mais à forte humidité de l'air (bords de mer par exemple).

En conséquence, les plantes ont une alimentation en eau plus régulière, sans excès important ou sécheresse prolongée, et la période permettant une bonne alimentation hydrique des plantes est étendue. Des cultures deviennent possibles en semis direct dans des zones agroécologiques où elles ne pourraient pas se développer avec des techniques conventionnelles.

Au delà d'une meilleure alimentation hydrique des cultures, une bonne gestion des systèmes SCV doit permettre d'optimiser la production de biomasse (indispensable au bon fonctionnement des SCV) par rapport à la quantité d'eau disponible au niveau d'une parcelle (qu'elle soit issue des précipitations ou de l'irrigation). L'eau stockée dans un sol bien structuré est donc utilisée autant que possible par des plantes pour produire en périodes "marginales" (pluies aléatoires, difficilement utilisables par les cultures) comme en saison sèche (grâce à leur système racinaire profond et l'utilisation des remontées capillaires) une forte biomasse qui alimente la litière et améliore le fonctionnement du sol et des systèmes conduits en SCV. Cette production de biomasse en saison sèche permet d'augmenter fortement la production totale et est d'autant plus intéressante qu'elle se fait à une période de faible minéralisation, avec un différentiel "production - pertes" très positif, et qu'elle

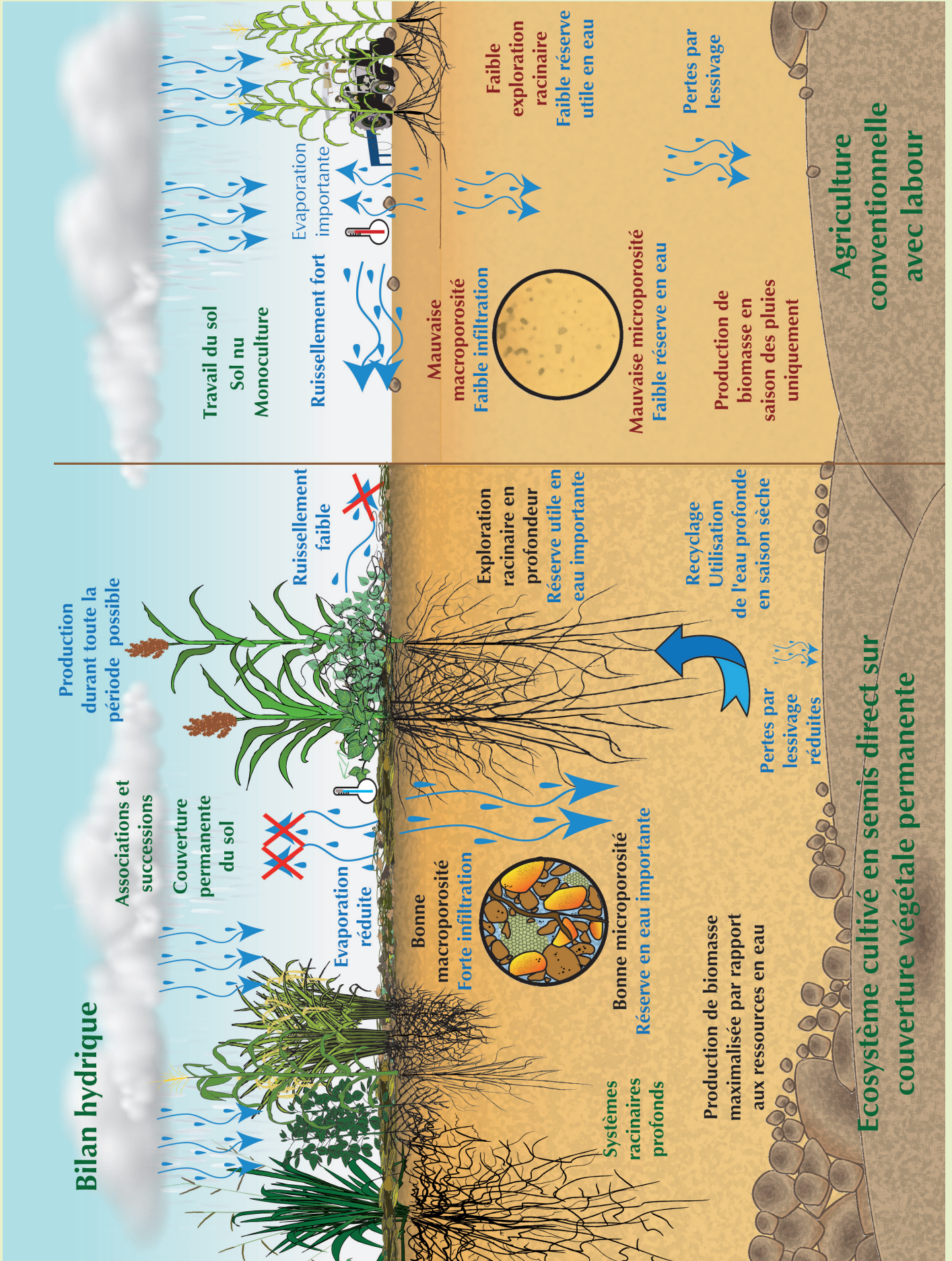


Sol hardé fortement dégradé



Forte productivité de riz SEBOTA sur sol hardé réhabilité

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

permet une très bonne couverture du sol pour la culture suivante, bien qu'elle se fasse juste après une longue saison sèche.

3.6 Santé des plantes

Santé des plantes en agriculture conventionnelle

La quasi totalité des pratiques en agriculture conventionnelle, avec une vision à court terme, conduisent rapidement à un affaiblissement des plantes et à l'augmentation de leur sensibilité aux attaques d'insectes et de maladies.

La faible activité biologique, liée en particulier à la perturbation du sol, à la baisse du taux de matière organique et à l'utilisation de pesticides, et la faible restitution au sol de matière organique conduisent à :

- une alimentation irrégulière et déséquilibrée des plantes (avec en particulier des carences en oligo-éléments);
- des défenses naturelles amoindries (pas de production d'antibiotiques naturels et d'éliciteurs par la microflore).

Les déséquilibres nutritionnels (aggravés lors des apports d'engrais minéraux, en particulier l'azote) et l'utilisation d'herbicides pour contrôler les adventices (d'autant plus nécessaire que les cultures se développent lentement), conduisent à un mauvais fonctionnement physiologique des plantes. Les processus de formation des protéines en particulier sont perturbés, ce qui conduit à l'accumulation d'acides aminés libres, de sucres réducteurs et d'azote minéral dans les tissus. Ces éléments sont le substrat privilégié pour divers bioagresseurs qui trouvent alors dans ces plantes déjà affaiblies des conditions très favorables à leur développement. Le déséquilibre nutritionnel des plantes favorise en conséquence la pullulation d'insectes et les épidémies. Dans ces conditions de fortes attaques des plantes, le recours à l'utilisation de pesticides pour essayer de réduire le nombre d'agresseurs est la "réponse" technique la plus simple (bien que coûteuse et possiblement polluante) en agriculture conventionnelle.

Ces "solutions" chimiques ont une certaine efficacité à court terme (ce qui a permis leur développement rapide malgré leur coût important), mais présentent de très nombreux inconvénients à moyen terme, dont :

- les risques de pollution;
- la rupture des équilibres écologiques au sein du système, par la destruction des prédateurs des insectes nuisibles;
- la destruction de la vie du sol, conduisant à une moindre disponibilité des éléments nutritifs et, en conséquence, entraînant des déséquilibres nutritionnels et privant les plantes de la protection par la microflore (trichodermes, etc.);
- la perturbation de la protéosynthèse des plantes par les pesticides.

Théorie de la trophobie

Dans sa théorie de la trophobie, Chaboussou (1985) explique que la sensibilité des plantes aux insectes et maladies (champignons, bactéries et virus) est avant tout le fait d'un déséquilibre nutritionnel. Un mauvais fonctionnement de la synthèse des protéines conduit à l'accumulation, dans les tissus des plantes, d'acides aminés libres (en particulier asparagine), de sucres réducteurs et d'azote minéral. Ces éléments solubles sont la base de l'alimentation des insectes, champignons, bactéries et virus qui, quand ils les ont à leur disposition, se développent mieux et plus rapidement. A forte concentration, ces éléments solubles rendent les plantes sensibles aux attaques, alors que les bioagresseurs se développent peu sur des plantes qui ne contiennent que très peu de ces éléments fondamentaux pour leur alimentation.

Un tel déséquilibre physiologique de la plante, avec dominance de la protéolyse sur la protéosynthèse est fonction de son stade physiologique mais est surtout lié à :

L'agression de la plante par des pesticides: insecticides, fongicides et surtout herbicides qui perturbent la protéosynthèse des plantes (leur sélectivité n'étant jamais absolue);

- une fertilisation minérale déséquilibrée, en particulier lors des apports d'azote et en cas de manque de potasse;
- des carences en oligo-éléments (Mn, Cl, B qui sont des activateurs d'enzymes et Cu, Fe, Zn et Mo qui sont des composantes des enzymes);
- des stress hydriques (inondation, sécheresse).

Principes et fonctionnement du semis direct

En conséquence, la sensibilité des plantes est accrue et le développement des bioagresseurs est favorisé. A moyen terme, la “solution” chimique ne fait donc qu’accroître les problèmes, ce qui explique les difficultés de l’agriculture conventionnelle à obtenir des cultures saines.

Santé des plantes en semis direct sur couverture végétale permanente

La santé des plantes cultivées dans des systèmes SCV est assurée de manière intégrée par:

- une alimentation (en eau et éléments nutritifs) équilibrée et régulière. La forte réserve utile en eau, le stockage des éléments nutritifs sous forme organique, la minéralisation régulière, la mobilisation d’éléments fixés dans le sol, la solubilisation de ces éléments nutritifs (action des micro-organismes, pH et potentiel redox du sol favorables) font que les plantes ont à leur disposition l’eau et les éléments nutritifs, y compris les oligo-éléments, qu’elles peuvent puiser facilement dans le sol tout au long de leur cycle. Des plantes bien nourries (alimentation régulière et équilibrée, en quantité suffisante) ont un bon fonctionnement physiologique, sont très saines et peu attaquées par les bioagresseurs. Le riz par exemple est remarquablement sain après stylosanthes et il est très peu touché par la pyriculariose après une association eleusine + crotalaire;
- la production par les micro-organismes (bactéries et champignons du sol) de toute une série de substances: antibiotiques (production de *Pseudomonas sp.* contre *Fusarium sp.*, pourriture des racines, etc.), hormones de croissance, éliciteurs (qui renforcent les défenses immunitaires naturelles contre *Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas syringae*, *Colletotrichum lindemuthianum*, etc.). L’incidence des maladies fongiques comme la fusariose, les pourritures des racines (*Rhizoctonia sp.*), les fontes de semis (*Pythium sp.*), est fortement réduite dans des sols avec amendements organiques dans lesquels se développe une forte activité microbienne, comme en semis direct sur couverture végétale permanente;
- la colonisation par les microbes (bactéries et champignons) et les nématodes qui détruisent les propagules des pathogènes (spores de *Cochliobolus sp.* par exemple);
- la création de conditions peu favorables au développement de bactéries pathogènes (milieu bien aéré en particulier) et la suppression de la transmission des bactéries pathogènes du sol aux feuilles par effet “splash” (effet des gouttes d’eau qui frappent le sol et projettent des fragments de sol contaminé sous les feuilles);
- la protection des plantes contre les nématodes phytoparasites par les mycorhizes; l’utilisation de mélanges d’espèces (cultures associées) et/ou de variétés: les variétés/espèces résistantes sont moins touchées et permettent de limiter la transmission des maladies aux variétés moins résistantes (mais employées pour leur fort potentiel de production);
- l’utilisation raisonnée des herbicides (et autant que possible la non utilisation de ces produits), de manière à perturber le moins possible la physiologie des plantes (application avant les cultures, sur une couverture végétale épaisse, à faible dose, etc.).

Les traitements fongicides sont réduits autant que possible du fait de leur effet très néfaste sur la microflore du sol (qui à l’inverse a un effet très positif sur l’alimentation et la santé des plantes). Ils se limitent au traitement de semences (en particulier pour les légumineuses) quand cela est nécessaire. Un traitement en végétation se réalise à faible dose, uniquement quand il est absolument indispensable, ce qui peut être le cas les premières années, avant que l’ensemble des effets bénéfiques des SCV se fasse sentir.

L’utilisation de produits biologiques pour renforcer les défenses naturelles des plantes (éliciteurs) est également possible. Outre l’alimentation équilibrée des cultures qui réduit fortement la sensibilité des plantes, le contrôle des bioagresseurs, en particulier des insectes ravageurs se fait selon les principes de lutte intégrée par reconstitution d’un équilibre écologique avec les prédateurs naturels des insectes nuisibles;

Si la pression des bioagresseurs est très forte (en particulier les premières années le temps que l’amélioration des sols permette une alimentation équilibrée des plantes et qu’un équilibre écologique se soit restauré), l’utilisation des pesticides peut être nécessaire pour conduire certaines cultures. Il est cependant préférable pendant ces premières années d’éviter de cultiver des plantes particulièrement sensibles aux bioagresseurs présents, ce qui permet de limiter l’emploi des pesticides. Cela favorise le retour rapide d’un équilibre écologique et évite de déséquilibrer les processus de protéosynthèse et d’accroître la sensibilité des plantes.

Principes et fonctionnement du semis direct

3.7. Contrôle des adventices

Contrôle des adventices en agriculture conventionnelle

Le contrôle des adventices en agriculture conventionnelle repose sur le travail du sol et l'utilisation d'herbicides sélectifs des cultures (quand ils sont accessibles). Cette approche permet un bon contrôle des principales adventices tant que celles-ci n'ont pas développé de résistance aux herbicides employés. L'agriculture conventionnelle "s'adapte" à ces résistances par la mise au point, par l'industrie chimique, de matières actives de plus en plus performantes, mais aussi de plus en plus coûteuses et souvent polluantes.

En l'absence d'herbicides (souvent inaccessibles, ou à des coûts prohibitifs en petite agriculture familiale dans les pays du Sud), le sarclage manuel des parcelles est souvent la seule pratique abordable. Il engendre cependant des temps de travaux considérables. Le contrôle des adventices est difficile à réaliser à temps, ce qui fait que l'enherbement est très souvent un des premiers facteurs limitant la production dans ces conditions.

Contrôle des adventices en SCV

En SCV, la fonction de contrôle des adventices est assurée en priorité par l'insertion dans les systèmes de culture de plantes (cultures ou plantes de couverture) capables de dominer naturellement la plupart des adventices, qui produisent une forte biomasse (alimentant ainsi la couverture végétale) et qui sont facilement maîtrisables. Cette domination des adventices se fait par compétition pour la lumière (ombrage), compétition pour les éléments nutritifs et/ou effets allélopathiques (production de substances interférant avec la germination et/ou la croissance des plantes, véritables herbicides naturels). Ces substances sont libérées par les plantes vivantes (exsudats racinaires en particulier) ou lors de leur décomposition. Des plantes comme l'avoine, la crotalaire ou le sarrasin sont particulièrement efficaces pour "nettoyer" les parcelles infestées grâce à leurs très forts effets allélopathiques. Les couvertures à base d'espèces du genre *Sorghum* permettent de contrôler la peste végétale qu'est le *Cyperus rotundus* (capable de se développer à travers de nombreux paillages). Une plante comme le *Stylosanthes* ou le *Brachiaria* contrôle parfaitement le striga grâce à son épais paillage et ses effets sur la germination des graines (il déclenche la germination mais n'est pas parasité par le striga, dont la plantule meurt rapidement faute d'hôte). Ces plantes qui contrôlent naturellement les adventices permettent de réduire progressivement leur stock semencier dans le sol et font baisser leur pression sur les cultures suivantes.

Le contrôle des adventices peut se faire mécaniquement (fauche, roulage, décapage manuel) ou chimiquement (par utilisation d'herbicide total ou sélectif) en fonction de leurs caractéristiques. Les plantes annuelles (eleusine, dolique, mucuna, etc.) sont en général facilement contrôlées par simple fauche ou roulage, ou encore avec des herbicides à faibles doses. Les plantes vivaces (*Brachiaria spp*, *Cynodon dactylon*, etc.) demandent des doses d'herbicide plus élevées et sont de manière générale plus difficiles à contrôler mécaniquement, à l'exception du *Stylosanthes guianensis* qui bien que pérenne peut se contrôler facilement par simple fauche au ras du sol. Certaines plantes peuvent aussi être contrôlées par apport d'urée (cas du striga par exemple), submersion (dans les rizières) ou naturellement par le gel (climat tempéré ou sub-tropical d'altitude).

Ce contrôle peut être total dans le cas des couvertures mortes, ou temporaire/localisé pour les couvertures vives qui ne sont maîtrisées que le temps de la culture et/ou sur les lignes de culture, et qui recolonisent la parcelle après la récolte.



Libellule mangeant un cercopide



Chenille attaquée par un champignon enthomopathogène

Principes et fonctionnement du semis direct



Contrôle des adventices sous coton sur biomasse de *Brachiaria ruziziensis*

Le type de plantes à incorporer dans les successions/associations des cultures dépend donc de la flore adventice, des cultures à mettre en place (certaines plantes peuvent avoir des effets allélopathiques sur certaines cultures) et des moyens disponibles pour contrôler les plantes de couverture.

Dans la culture suivante, la couverture végétale du sol (morte ou vivante, obtenue à partir des résidus de récolte et/ou de plantes de couverture) joue un rôle d'ombrage et peut avoir un effet allélopathique. Suffisamment épaisse, elle empêche la levée de la plupart des adventices.

De plus, l'absence de perturbation du sol permet d'éviter de replacer en conditions favorables de germination les graines d'adventices présentes dans les sols (d'où l'importance de bien maîtriser le semis pour éviter de "polluer" la parcelle en remontant en surface du sol contenant des graines d'adventices). Dans de telles conditions, seules les graines issues de la fructification dans la parcelle des plantes qui n'auraient pas été contrôlées à temps et celles transportées par le vent et les animaux (principales sources d'infestation en SCV) sont à même de germer.

Le contrôle des adventices en SCV passe donc avant tout par la couverture végétale. L'année "zéro" de préparation des SCV doit permettre de contrôler totalement les adventices vivaces et de constituer la couverture végétale épaisse qui assurera le contrôle des adventices annuelles par la suite. Durant cette année de préparation des SCV,

le contrôle des adventices est assuré "classiquement" par labour et utilisation d'herbicides sélectifs des cultures, auxquels s'ajoute la mise en place de plantes associées qui vont contribuer à réduire la pression des adventices et à produire la couverture végétale pour la saison suivante. Le contrôle des adventices, les années suivantes, dépend avant tout de la quantité et de la qualité de la biomasse produite et maintenue au sol, et du stock de graines d'adventices. Le contrôle des adventices éventuellement levées à travers la couverture (insuffisante) exige soit des herbicides sélectifs (parfois difficiles à trouver, surtout dans des systèmes associant plusieurs plantes aux caractéristiques différentes), soit le passage d'un herbicide total de manière localisée (avec un cache ou un balai-herbicide), soit enfin l'arrachage manuel (long à réaliser). Le recours au binage est déconseillé, le travail du sol, même superficiel, modifiant la dynamique de la matière organique, accélérant la décomposition de la couverture et remontant les graines d'adventices en position favorable à leur germination.

Les herbicides en SCV

Dans des systèmes SCV installés, avec forte production de biomasse, l'utilisation des herbicides est limitée au nettoyage des parcelles (si nécessaire) avant semis et/ou au contrôle des couvertures végétales pour celles qui ne peuvent pas être contrôlées mécaniquement. Dans ce cas, le contrôle se fait par utilisation d'herbicides totaux, appliqués avant les cultures, en général à faible dose, sur un sol couvert par une forte biomasse, ce qui réduit leur impact sur les cultures et les risques de pollution. L'utilisation d'herbicides "sélectifs" des cultures est limitée autant que possible, d'autant plus que l'efficacité des herbicides de pré-levée est faible sur un paillage, avec un sol riche en matière organique. Un herbicide de post-levée peut éventuellement être utilisé (s'il est disponible) en cas "d'accident", quand la couverture, insuffisante, a mal contrôlé les adventices.

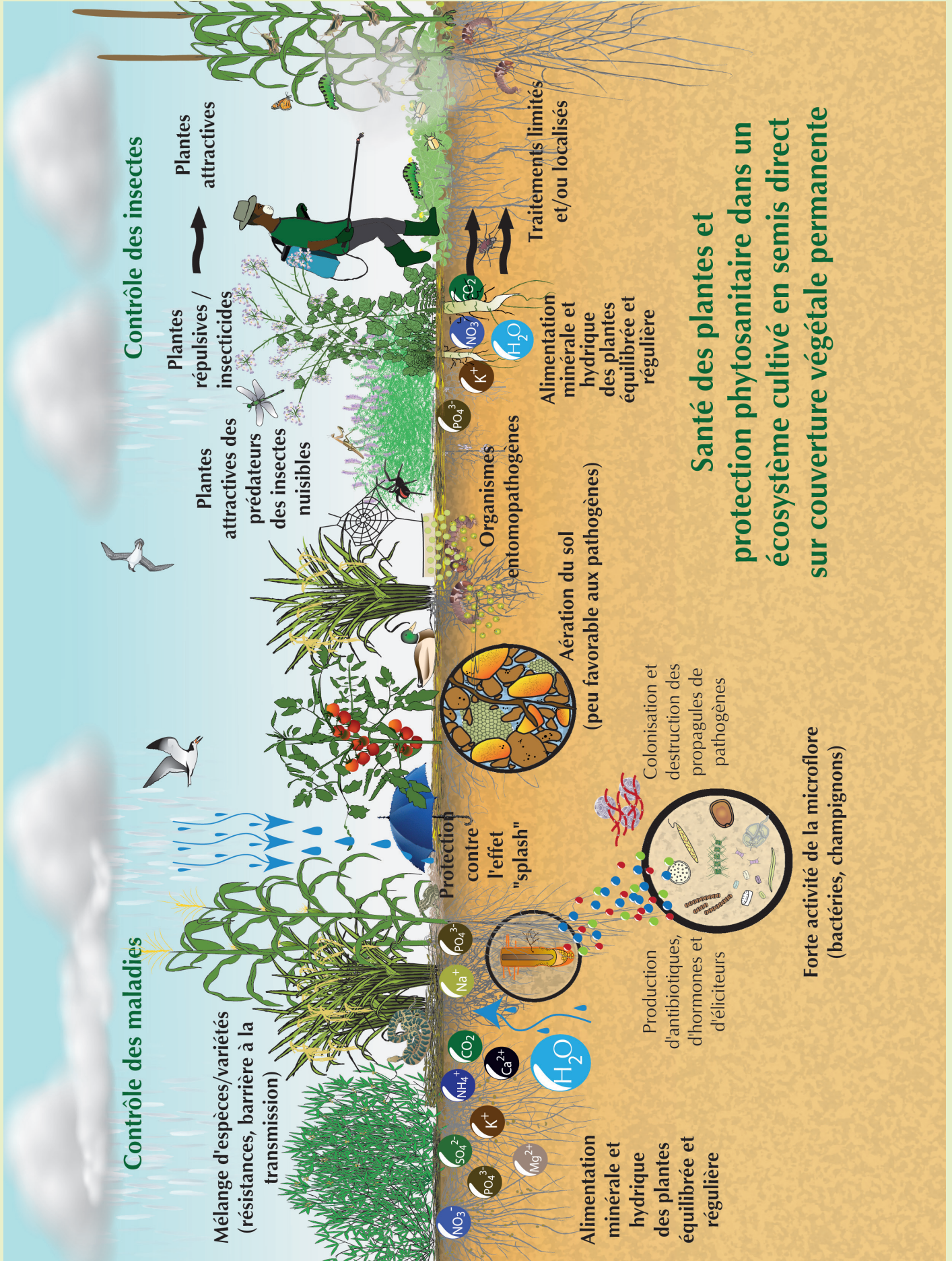
Durant la ou les premières années de préparation des systèmes SCV, avant qu'une biomasse suffisante pour contrôler les adventices soit obtenue, l'utilisation d'herbicides est souvent nécessaire. On cherche cependant à la limiter autant que possible, en cultivant en premier des plantes relativement faciles à nettoyer (comme le maïs) que l'on associe à des plantes de couverture qui contrôlent rapidement les adventices.

3.8. Température du sol

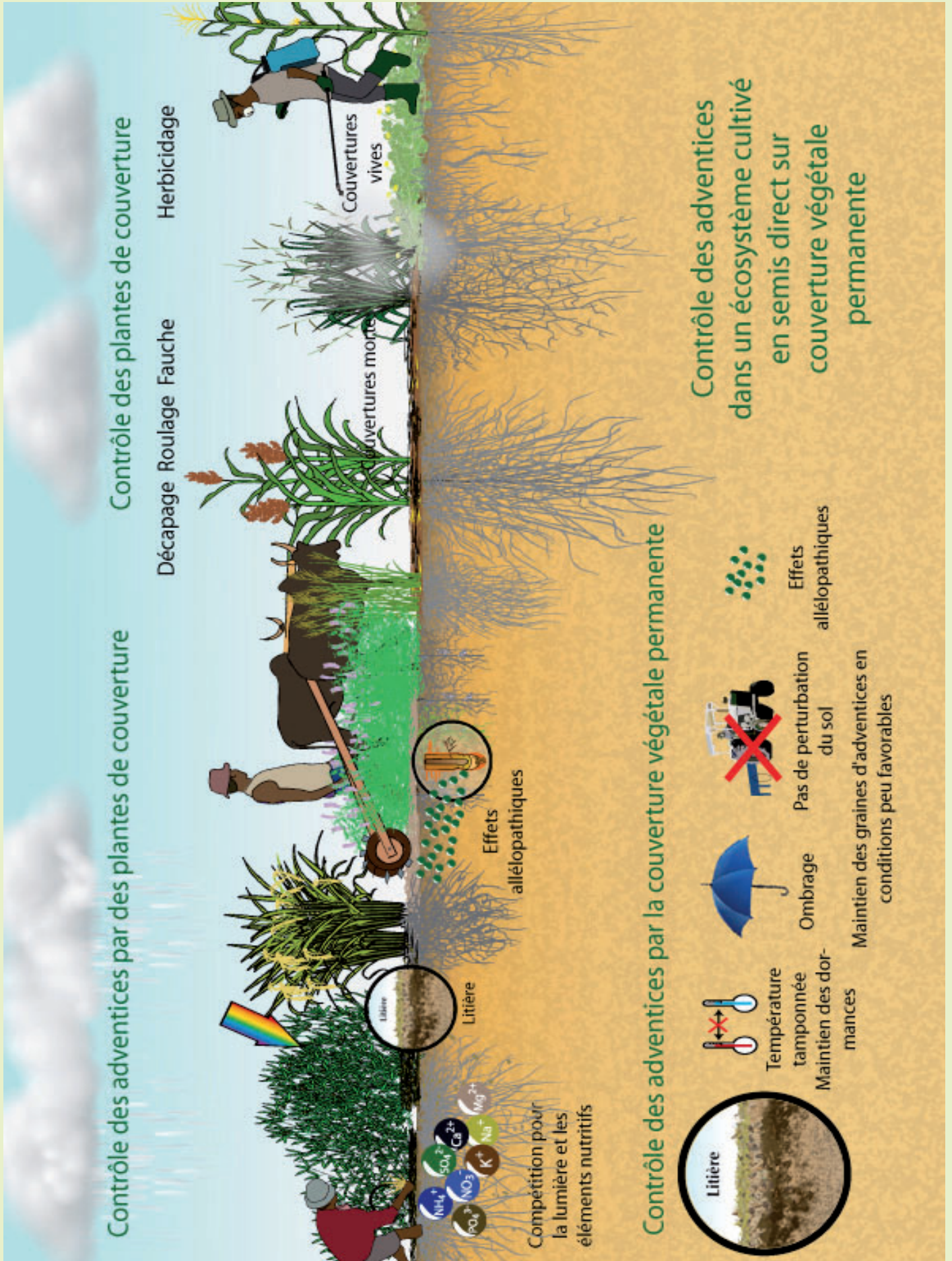
Température du sol en agriculture conventionnelle

En agriculture conventionnelle, le sol nu est exposé aux radiations du soleil (dont les UV très nuisibles aux micro-organismes). Cette exposition permet

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

un réchauffement rapide du sol (intéressant au printemps dans les milieux tempérés), mais conduit à une très forte amplitude thermique et à des températures extrêmes (en particulier en milieu tropical), peu favorables au développement d'organismes vivants.

Température du sol en SCV

Dans les systèmes SCV, la couverture végétale joue le rôle de couverture thermique. Elle protège le sol du rayonnement solaire et limite les pertes de chaleur par rayonnement pendant la nuit. La température du sol sous une couverture végétale est donc tamponnée, et l'amplitude thermique y est limitée.

En milieu tropical, les températures extrêmes sont ainsi évitées, créant des conditions favorables au développement de l'activité biologique, concentrée dans les premiers centimètres du sol. En milieu tempéré, cette couverture peut en revanche ralentir le réchauffement du sol au printemps et entraîner un retard à la levée et une faible activité biologique. Il est cependant possible de "jouer" sur l'albédo de la couverture: à l'inverse d'une couverture claire qui renvoie une partie importante du rayonnement, une couverture sombre permet de conserver l'énergie et accélère le réchauffement du sol. On peut également découvrir seulement la ligne de semis (roues-étoiles sur semoirs de semis direct, situées à l'avant des disques ouvreurs) pour que le sol se réchauffe plus rapidement. De plus, sur les sols engorgés, un meilleur drainage interne, obtenu par les pratiques SCV, fait que la quantité d'eau du sol à réchauffer est moindre qu'en pratique conventionnelle. Le réchauffement du sol demande une plus faible énergie et se fait plus rapidement.

3.9. Transformation des xénobiotiques

Pollution par les systèmes conventionnels

Dans les systèmes conventionnels, les herbicides et pesticides appliqués (parfois en très forte quantité) arrivent sur un sol nu. Ils peuvent être rapidement fixés par les colloïdes du sol et/ou entraînés par ruissellement, lixiviation et/ou érosion, polluant les sols, la nappe phréatique et/ou les cours d'eau voisins.

Détoxification par les systèmes SCV

A l'inverse, dans des systèmes en SCV, herbicides et pesticides sont interceptés par la couverture végétale qui limite aussi les transferts par ruissellement et lixiviation. Le fonctionnement de la litière et du sol sous SCV permet également la bioremédiation des xénobiotiques polluants, dégradés comme dans un bioréacteur sous l'effet des champignons (type basidiomycètes, pleurotes, *Aspergillus sp.*, etc.) et des bactéries, ou incorporés dans des composés organiques moins toxiques et peu mobiles. Les couverts à base de sorgho, sont très efficaces à remplir cette fonction de détoxification, en particulier par leur forte teneur en lignine qui fournit un substrat pour ces champignons décomposeurs de lignine. De plus, les mycorhizes jouent un rôle important dans la protection des plantes contre les métaux lourds.

3.10. Bilan

Le fonctionnement du sol en agriculture conventionnelle

L'agriculture conventionnelle repose sur le travail du sol qui a pour objectifs de le préparer pour la mise en place des cultures (lit de semence) et de réduire la pression des adventices.

Impacts négatifs des pratiques conventionnelles sur l'activité biologique

Les pratiques conventionnelles ont de nombreux impacts négatifs sur les organismes du sol :

- le labour détruit une partie de la macrofaune et crée des conditions difficiles pour les micro-organismes : exposition aux rayonnements UV du soleil et forte température en surface, mauvaise aération en profondeur, faible humidité du fait d'une mauvaise porosité, etc.;
- la perte de matière organique liée au labour et l'exportation des pailles (fréquente en système conventionnel), équivaut à une baisse des ressources nutritives pour les micro-organismes;
- certains engrais chimiques sont néfastes aux micro-organismes (chlorures, sulfates, etc.);
- les herbicides et surtout les insecticides et fongicides ont des effets très négatifs sur les organismes vivants du sol.

Principes et fonctionnement du semis direct

L'introduction du travail du sol dans un écosystème pour le mettre en culture a cependant pour conséquence de modifier profondément la dynamique de la matière organique, fondamentale pour le bon fonctionnement de l'écosystème "sol". En accélérant la minéralisation, le travail du sol augmente les besoins en biomasse pour maintenir le niveau de matière organique alors qu'en parallèle, la production de phytomasse est limitée par le manque de diversité des cultures et leur faible intensité (monoculture, peu d'associations ou de successions). En conséquence, le travail du sol en agriculture conventionnelle conduit à une perte de matière organique du sol, d'autant plus que le sol mis à nu est exposé à l'érosion. Cette perte de matière organique s'accompagne d'une baisse de l'activité biologique (par diminution du substrat organique mais aussi par perturbation et mise à nu du sol), qui entraînent en conséquence:

- le lessivage des argiles, la lixiviation des bases et des éléments nutritifs et une baisse globale de la fertilité;
- la déstructuration des sols, qui amplifie la baisse de l'activité biologique (perte d'habitats) et conduit à un enracinement superficiel et une mauvaise utilisation de l'eau et des éléments nutritifs par les plantes;
- la dégradation de la santé des plantes, du fait:
 - d'une mauvaise nutrition, irrégulière et déséquilibrée;
 - de la destruction de la microflore (bactéries, mycorhizes, trichodermes, etc.), qui ne remplit plus son rôle de "digestion" des éléments nutritifs et ne fournit plus aux plantes les éliciteurs et antibiotiques qu'elle produit naturellement; et
 - de déséquilibres écologiques, permettant la prolifération des organismes nuisibles.



Labour manuel à la houe

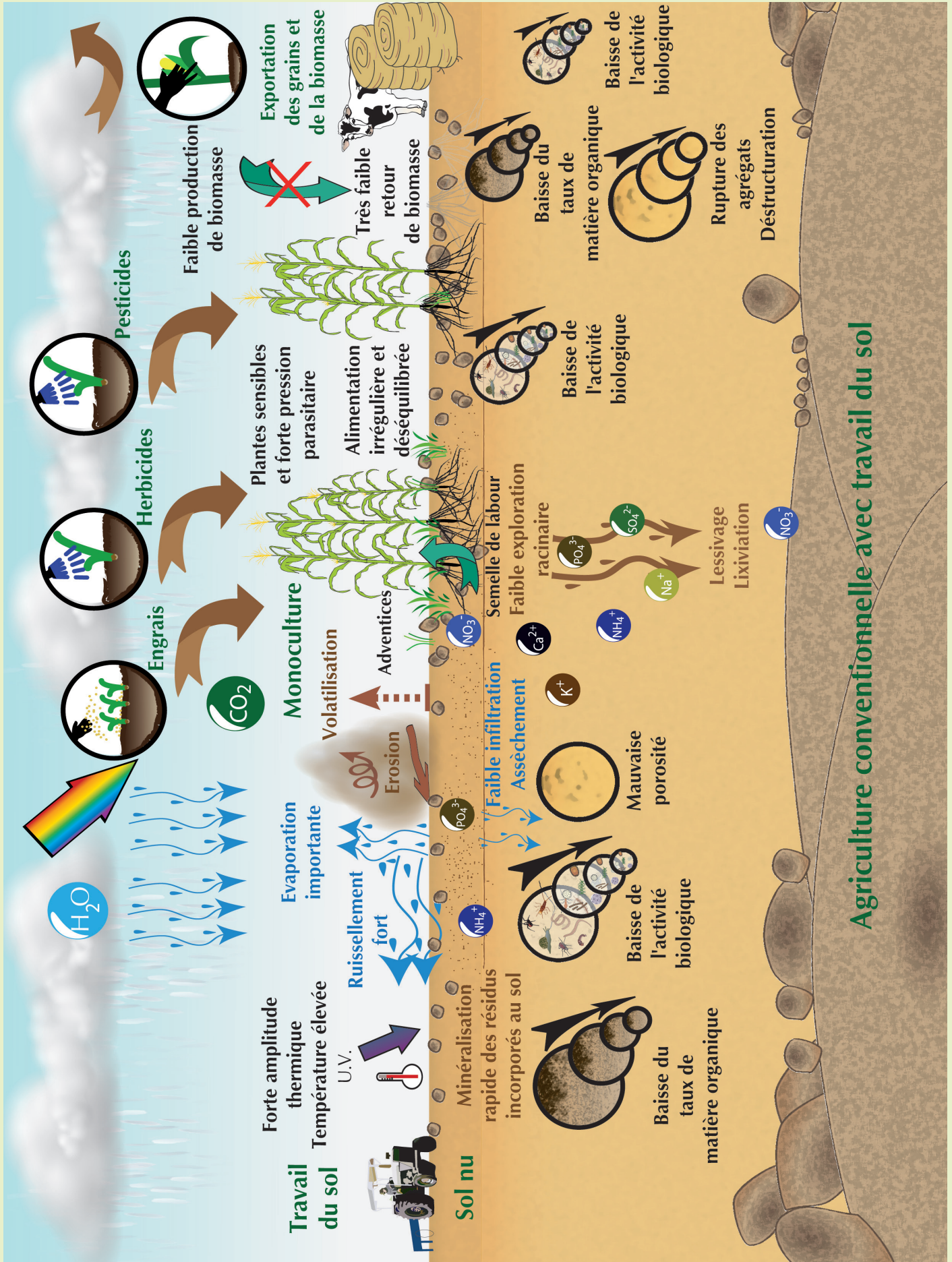
Pour pallier à ces nouvelles contraintes induites par le travail du sol, l'agriculture conventionnelle intensive s'est tournée vers:

- une intensification du travail du sol, pour compenser (à court terme) la déstructuration des sols, et
- une approche chimique, pour compenser la baisse de fertilité chimique du sol (apports d'éléments nutritifs sous forme d'engrais), contrôler les mauvaises herbes (utilisation d'herbicides toujours plus puissants) et protéger les cultures dont les défenses naturelles étaient affaiblies par leur mauvaise nutrition et la faible activité biologique du sol.

Une telle approche, développée dans les climats tempérés, a permis d'obtenir des résultats intéressants à court terme du fait essentiellement des caractéristiques de ces milieux: la minéralisation lente qui fait que les pertes de matière organique sont faibles, la bonne fertilité initiale des sols qui permet une production de biomasse relativement importante, l'intensité modérée des pluies et donc de l'érosion, l'accès aux intrants dans de bonnes conditions, etc. A moyen terme, la dégradation progressive des sols et l'évolution des marchés (baisse des prix de vente, augmentation des prix des intrants alors que leurs besoins augmentent) font que: i) la mise en œuvre de pratiques sortant de la logique "chimique" (lutte intégrée, fertilisation raisonnée) est difficile; ii) la tentation d'appliquer des doses croissantes, est forte; et iii) l'agriculture conventionnelle intensive ne peut exister que soutenue par des subventions (pourtant amenées à disparaître). Les problèmes environnementaux engendrés par l'utilisation massive de la chimie la remettent également en question (pollution des nappes et des rivières, perturbation de la faune, résidus dans les produits, santé des utilisateurs, etc.).

Transférées en milieu tropical, sous un climat très agressif (minéralisation très rapide, précipitations intenses) ces pratiques conventionnelles sont catastrophiques (en dehors des milieux très particuliers de rizières). Elles engendrent une érosion intense et une perte rapide de la matière organique du sol (d'autant plus rapide que les résidus de culture sont exportés ou brûlés), conduisant à une dégradation générale des sols. La perte de production qui s'en suit fait que les retours de biomasse au système pour maintenir la fertilité sont insuffisants. L'écosystème ainsi cultivé avec travail du sol entre dans un cercle vicieux de dégradation, qu'il est très difficile de quitter. Des apports de matière organique au sol (restitution de tous les résidus et apports d'engrais organiques) ne suffisent bien souvent qu'à ralentir la dégradation du sol engendrée par son travail, en particulier quand l'érosion est importante. L'option "chimique" de compensation des "dégâts", très coûteuse et difficilement accessible, n'est

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

pas adaptée du tout aux milieux tropicaux, même pour une agriculture commerciale intensive. Elle ne permet pas de maintenir la fertilité du sol, est très polluante et très peu rentable à moyen terme.

Trois principes indissociables

Les trois grands principes fondamentaux des SCV (pas de perturbation du sol, couverture permanente et diversité des cultures) sont indissociables et fonctionnent en interaction, avec de nombreuses synergies. Le système dans sa globalité est supérieur à la somme de ses composantes.

Par exemple, le maintien d'une couverture végétale permanente n'est pas possible si le sol est perturbé et si cette couverture n'est pas alimentée par une phytomasse importante et variée. De plus, l'application de seulement un ou deux de ces trois principes ne permet pas de maintenir et encore moins d'augmenter le stock de matière organique du sol.

L'application "isolée" de ces principes ne peut avoir un effet marqué que dans certaines conditions très particulières. Dans les milieux très secs par exemple, le maintien de résidus de récolte, même en faible quantité (1-2 t/ha), a un impact marqué sur l'infiltration de l'eau et permet d'améliorer remarquablement la production en levant la contrainte principale (l'alimentation hydrique des plantes).

fonctions et services écosystémiques rendus par la macrofaune et la microflore du sol, y compris ceux indispensables au maintien de ces caractéristiques physiques et chimiques (humification, agrégation, bioturbation, etc.). Un sol mort, sans activité biologique, ne peut que se dégrader (physiquement et chimiquement). La nutrition des plantes,

privée de la fonction de "digestion" (solubilisation des éléments nutritifs) normalement remplie par les micro-organismes du sol, ne peut se faire que sous forme de "perfusion" par apport d'engrais minéraux solubles (pour les éléments que la chimie sait rendre solubles), ponctuels et très difficile à équilibrer.

Des fonctions encore méconnues

Chaque plante est capable d'assurer diverses fonctions et de rendre divers services écosystémiques. Les fonctions remplies par une espèce sont cependant très variables et restent très mal connues. Les plantes agissent très souvent en interaction avec la microflore stimulée de manière sélective par les exsudats racinaires. La compréhension de ces phénomènes et la découverte des capacités des diverses plantes à rendre des services spécifiques est un champ de recherche fondamental pour l'amélioration des performances des systèmes en semis direct sur couverture végétale permanente.

La méconnaissance de l'importance de l'activité biologique du sol a fait que les "solutions" techniques proposées par l'agriculture conventionnelle, supposées répondre aux nouvelles contraintes, ne s'adressaient qu'aux symptômes (mauvaise nutrition des plantes, maladies et insectes) sans "s'attaquer" aux causes des problèmes (dégradation biologique des sols, déséquilibres écologiques, etc.). Pire encore, les "solutions" apportées pour le "traitement" à court terme de ces symptômes (de maladies, de carences, etc.) conduisent très souvent à l'aggravation des causes en affaiblissant la microflore du sol (effets néfastes du travail du sol, des engrais, des herbicides, des insecticides et surtout des fongicides), en perturbant le fonctionnement des plantes

Principes et fonctionnement du semis direct

(alimentation, protéosynthèse, etc.) et en détruisant les équilibres écologiques (effets des insecticides et du travail du sol). De plus, du fait des contraintes économiques (adaptation aux marchés) mais surtout par volonté, consciente ou non, de simplification du métier d'agriculteur, d'agent de vulgarisation ou d'agronome, une composante fondamentale des systèmes de culture (la nature des cultures et leur ordre de succession/association) a progressivement perdu son rôle dans la gestion agronomique des parcelles et des exploitations. Les "solutions" proposées se limitent très souvent à des adaptations de l'itinéraire technique (variétés, pesticides, engrais, etc.) et négligent les possibilités de "piloter" les écosystèmes par les associations et successions de cultures, qui influencent fortement la matière organique et l'activité biologique du sol.



Couverture permanente du sol : forte production de biomasse

Le fonctionnement du sol dans les systèmes d'abattis-brûlis

Dans les systèmes traditionnels d'abattis-brûlis, la période sous jachère, si elle est assez longue, permet de regagner en partie la fertilité (physique, chimique et surtout biologique) des sols perdus rapidement pendant les périodes de cultures avec travail du sol (et brûlis), sur des pentes souvent fortes. Cependant, à partir d'une densité de population supérieure à 15 ou 20 hab/km², la pression foncière permet difficilement une jachère suffisamment longue pour régénérer convenablement les sols. Au delà de 40 hab/km², la pression sur la terre est telle que la régénération des sols est très limitée et ne permet plus de compenser les pertes. Les sols se dégradent, les rendements baissent et les cycles d'abattis-brûlis s'accroissent, aggravant dans un cercle vicieux la dégradation des sols et les baisses de rendement.

Le fonctionnement d'un écosystème cultivé en SCV: intensification écologique

A l'inverse de l'agriculture conventionnelle qui introduit une perturbation majeure dans l'écosystème (le travail du sol), le semis direct sur couverture végétale permanente s'inspire du fonctionnement d'un écosystème naturel, sans le perturber mais en l'intensifiant. Ainsi, la dynamique de la matière organique en SCV est proche de celle d'un écosystème naturel et les organismes vivants du sol y jouent un rôle fondamental. Globalement, l'utilisation massive d'énergie culturale industrielle de l'agriculture conventionnelle est remplacée par un emploi vertueux et écologique d'énergie culturale biologique.

La gestion de ces systèmes en SCV repose sur un modèle de fonctionnement intégré de cet écosystème cultivé. Elle vise en premier lieu, à travers une forte production et restitution de biomasse, à augmenter le taux de matière organique du sol (puis à le maintenir à un niveau satisfaisant) et à accroître l'activité biologique (intensité et biodiversité) qui sont essentielles à leur bon fonctionnement. Le pilotage de ces systèmes se fait par l'intermédiaire des plantes qui, par leur aptitude à produire une forte biomasse de qualité variée et à stimuler de manière sélective l'activité biologique, permettent de remplir diverses

Une grande diversité de systèmes SCV

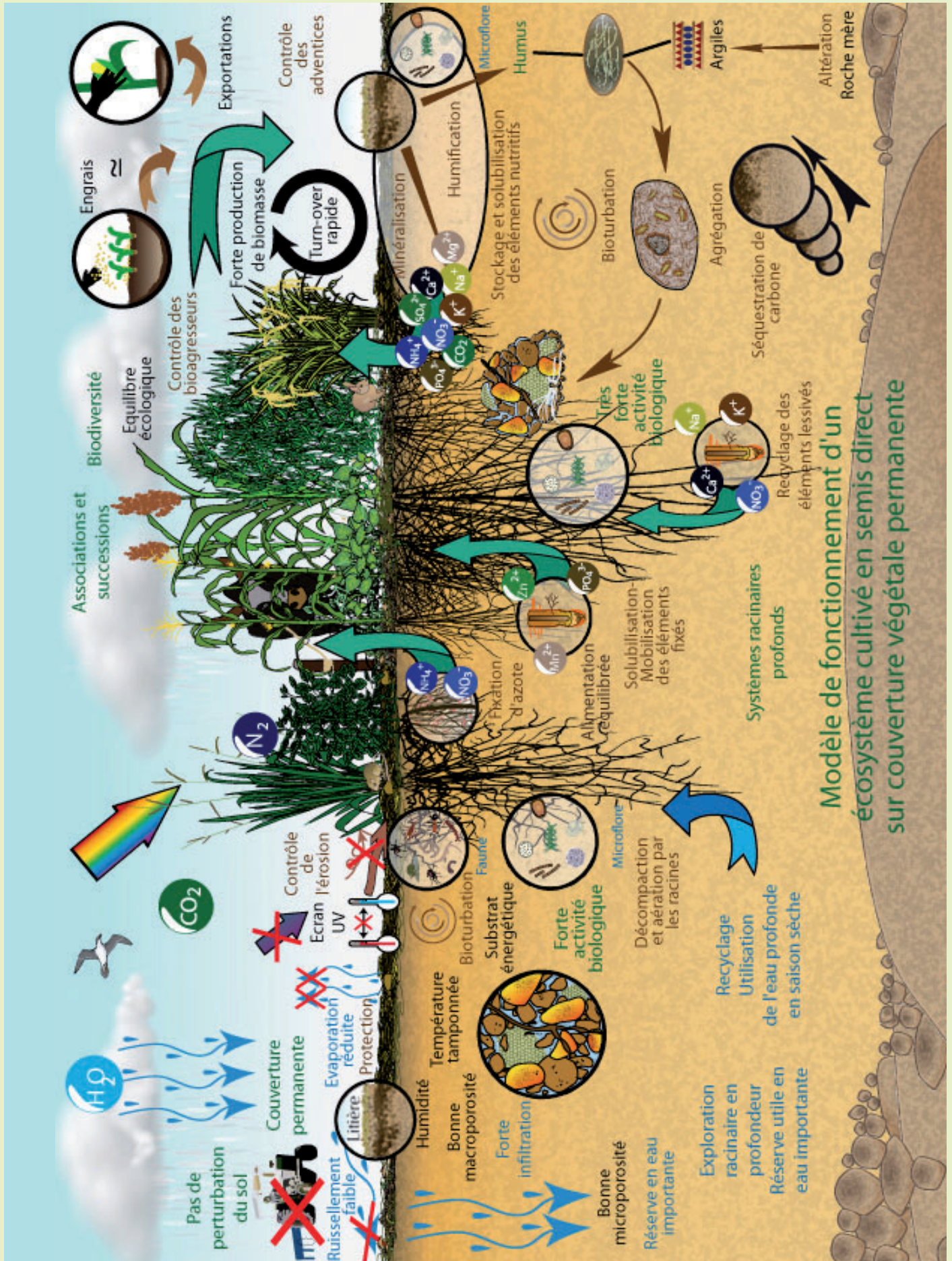
Chaque système SCV a un potentiel plus ou moins élevé pour rendre des services écosystémiques divers. De plus, les conditions de réalisation de ces systèmes leur permettent ou non d'exprimer ce potentiel.

En conséquence, la capacité à rendre un service écosystémique donné est spécifique à chaque système, et à ses conditions de réalisation (production effective de biomasse en particulier).

Les systèmes les plus performants sont ceux qui permettent de remplir rapidement de nombreuses fonctions.

Un système ne peut pas remplir toutes les fonctions avec un même niveau d'efficacité. Par contre, la très grande diversité des systèmes SCV permet de choisir les systèmes les plus adaptés à un moment donné, pour remplir des fonctions agronomiques prioritaires et lever les contraintes majeures dans une situation donnée. Au fur et à mesure de l'évolution des situations, les systèmes doivent s'adapter pour assurer les fonctions qui sont devenues prioritaires

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct

fonctions agronomiques. L'écosystème "sol", façonné par les pratiques culturales, n'est pas cantonné à un rôle de support pour les plantes et de réservoir d'éléments minéraux. Il joue un rôle fondamental et remplit diverses fonctions supplémentaires:

- dans le stockage, la mobilisation et la régulation des flux des éléments nutritifs et de l'eau;
- d'effet tampon des aléas climatiques;
- dans la régulation des bioagresseurs, etc.

Ainsi, les principales fonctions agronomiques sont assurées avant tout par la biodiversité fonctionnelle dans les systèmes (qui est perdue dans les systèmes conventionnels). Tout en assurant la production de cultures (répondant aux besoins des agriculteurs et aux exigences des marchés), ces systèmes incluent des plantes choisies pour assurer des fonctions écosystémiques fondamentales (décompactions des sols, recyclage et mobilisation d'éléments nutritifs, contrôle des adventices et des insectes, etc.).

Les itinéraires techniques ne font que contribuer à rendre ces systèmes performants en leur permettant d'exprimer leur potentiel.

De plus, le mode de fonctionnement des systèmes SCV fait que les effets sur l'environnement d'éventuelles "erreurs de conduite" (fertilisation excessive ou application de pesticides en forte quantité) sont limités par la couverture végétale et l'activité biologique, contrairement aux systèmes conventionnels où de tels excès engendrent une forte pollution.

Les systèmes de culture en SCV sont conçus et adaptés pour lever en priorité les principales contraintes agronomiques identifiées et hiérarchisées. Ils s'adressent activement aux causes des problèmes plus qu'à leurs symptômes, en protégeant (prévention) et en restaurant (remédiation) les sols et les équilibres écologiques. Ils rendent en plus un certain nombre de services écosystémiques, avec en particulier un impact très positif dans le domaine de la séquestration du carbone et la réduction des gaz à effet de serre (alors que les systèmes conventionnels "perdent" du carbone).

De par leur conception même, les systèmes SCV doivent évoluer en permanence pour s'adapter aux évolutions des contraintes majeures (qui sont progressivement levées). Comme pour un écosystème naturel, cette capacité à évoluer est une des conditions de leur durabilité. Pour réintroduire la diversité nécessaire au bon fonctionnement agronomique des sols, on est amené à gérer dans le temps et dans l'espace des populations de plantes qui rendent des services divers, en associations ou en successions (intra ou inter-annuelles). Une conséquence fondamentale est qu'il existe une très grande diversité de systèmes SCV. Ces systèmes sont conçus pour assurer en priorité des fonctions écosystémiques qui permettent de lever les contraintes majeures (compaction, fertilité, adventices, bioagresseurs, etc.) rencontrées dans une situation donnée (unité agronomique donnée, dans une exploitation donnée, elle-même faisant partie d'un terroir). Pour une fonction écosystémique donnée, l'impact des systèmes SCV sur la production et l'environnement est donc, par nature, fonction du système de culture choisi (avec son potentiel à rendre ce type de service) et des conditions de sa réalisation (qui permet ou non l'expression de ce potentiel). Les systèmes SCV les plus robustes sont ceux qui sont capables d'assurer les fonctions écosystémiques attendues dans des conditions de réalisation variées. On cherche également à rendre ces systèmes aussi résilients que possible, c'est à dire capables de retrouver un fonctionnement et un développement normal après avoir subi une perturbation importante. Enfin, les systèmes SCV mis au point doivent s'intégrer au mieux dans les exploitations, avec les contraintes et les moyens des agriculteurs, et répondre à leurs demandes et leurs besoins, dans un contexte socio-économique donné (demande et opportunités des marchés, limitation des risques, etc.).

4. Les conditions de fonctionnement des systèmes SCV

Les systèmes SCV reposent fondamentalement sur la qualité et la quantité de la biomasse produite et restituée à la litière et au sol (biomasse aérienne et racinaire). La qualité de la biomasse joue sur les types de fonctions écosystémiques assurées, alors que la quantité influence directement l'intensité de ces fonctions. Il existe un seuil d'apport de biomasse au sol au delà duquel les systèmes fonctionnent convenablement en SCV, et en dessous duquel ils fonctionnent mal. Ce seuil correspond à la quantité de matière organique minéralisée. Il est variable en fonction essentiellement du climat, de la qualité de la biomasse, du sol et de son mode de gestion (travail ou non).

Principes et fonctionnement du semis direct

Si les apports sont supérieurs à ce seuil, les sols (et les cultures) en bénéficient et ce d'autant plus fortement et rapidement que le différentiel "biomasse restituée -biomasse perdue par minéralisation" est important. Inversement, des systèmes avec restitution de matière organique inférieure aux pertes (cas de systèmes à faible production de biomasse et/ou forte exportation, pour l'alimentation animale en particulier) ne permettent pas de maintenir durablement le niveau de matière organique des sols. Ils ne font que ralentir leur dégradation et n'assurent correctement qu'un nombre limité de fonctions agronomiques, ce qui limite leurs performances et leur intérêt. Très souvent, ces systèmes qui entrent dans le terme générique d'agriculture de conservation, ne permettent pas de maintenir une couverture végétale permanente. Ils ne correspondent donc pas, en toute rigueur, à la définition du semis direct sur couverture végétale permanente qui est un type particulier d'agriculture de conservation (et qui offre une grande diversité de systèmes, basés sur un certain nombre de principes à respecter).

Pour en savoir plus...

Chaboussou, F. 1985. Santé des cultures: une révolution agronomique. La maison rustique, Flammarion, Paris. ISBN : 2-7066-01-50-7 . 271 p.

De Moraes Sá, J.C. ; Cerri, C.C. ; Piccolo, M.C. Feigl, B.E. ; Buckner, J. ; Fornari, A. ; Sá, M.F. ; Séguy, L. ; Bouzinac, S. ; Venzke-Filho, S.P. ; Poulletti, V. ; Neto, M.S. 2004. Le semis direct comme base de système de production visant la séquestration du carbone. Revista plantio direto, 14 (84): 45-61.

Gobat, J.M. ; Aragno, M. et Matthey, W. 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols, ISBN: 2-88074-367-2, Presses polytechniques et universitaires romandes, Collection Gérer l'environnement. 550 p.
Magdoff, F. and Weil, R.R. editors. 2004. Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press LLC, ISBN 0-8493-1294-9, 398 p.

Séguy, L. ; Bouzinac, S. et Maronezzi, A.C. 2001. Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. Un dossier du semis direct. CIRAD-CA, Agronorte Pesquisas-Groupe MAEDA, TAF/FOFIFA/ANAE. 320 p. <http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7131/34698/file/1172915043.pdf>

Séguy, L. ; Bouzinac, S. et al. 2008. La symphonie inachevée du semis direct dans le Brésil central. Le système dominant dit de "semi-direct". Limites et dégâts, écosolutions et perspectives: la nature au service de l'agriculture durable. CIRAD, Embrapa, AgroNorte, UEPG, Codetec, USP, Facual. 214 p. <http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7200/35181/file/1212319668.pdf>

Uphoff, N. T. (ed.) ; Ball, A.S. (ed.), Fernandes, E.C.M. (ed.) ; Herren, H. R. (ed.), Husson, O. (ed.) ; Laing, M. V. (ed.) ; Palm, C. (ed.) ; Pretty, J. (ed.) ; Sanchez, P. (ed.) ; Sanginga, N. (ed.) ; Thies, J. (ed.). 2006. Biological approaches to sustainable soil systems. CRC Press, Boca Raton. ISBN -10: 1-57444-583-9. 764 p.



Volume I. Chapitre 2

Gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente

D'après le Manuel pratique du semis direct à Madagascar adapté par l'équipe du
Projet de Conservation des Sols (PCS/ESA II) au Nord Cameroun :
Abdoulaye ABOU ABBA, Oumarou BALARABE, Mahamat ALIFA, DOURWE Gaston,
DAOUDOU, TOUMBA, MANA JUSTIN, ADOUM YAOUBA, K. NAUDIN

Avril 2013

Principes et fonctionnement du 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.):

- la couverture végétale permanente du sol/litière (alimentée par une forte production de biomasse et non perturbée en l'absence de travail du sol);



Sol sous couverture végétale de *Stylosanthes guianensis*

- 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.

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, 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, 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 ou lorsque le sol est totalement épuisé et abandonné en jachère naturelle). Rentabiliser autant que possible les plantes de couverture en les associant à une culture.

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 biophysique (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 meurent naturellement (fin du cycle des annuelles, sécheresse, etc.); ou sont totalement desséchés à l'herbicide total, contrôlés mécaniquement (rouleau à cornière, fauche, décapage)

- 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 difficilement reproductible en zone de savane sèche.

Principes et fonctionnement du 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.

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



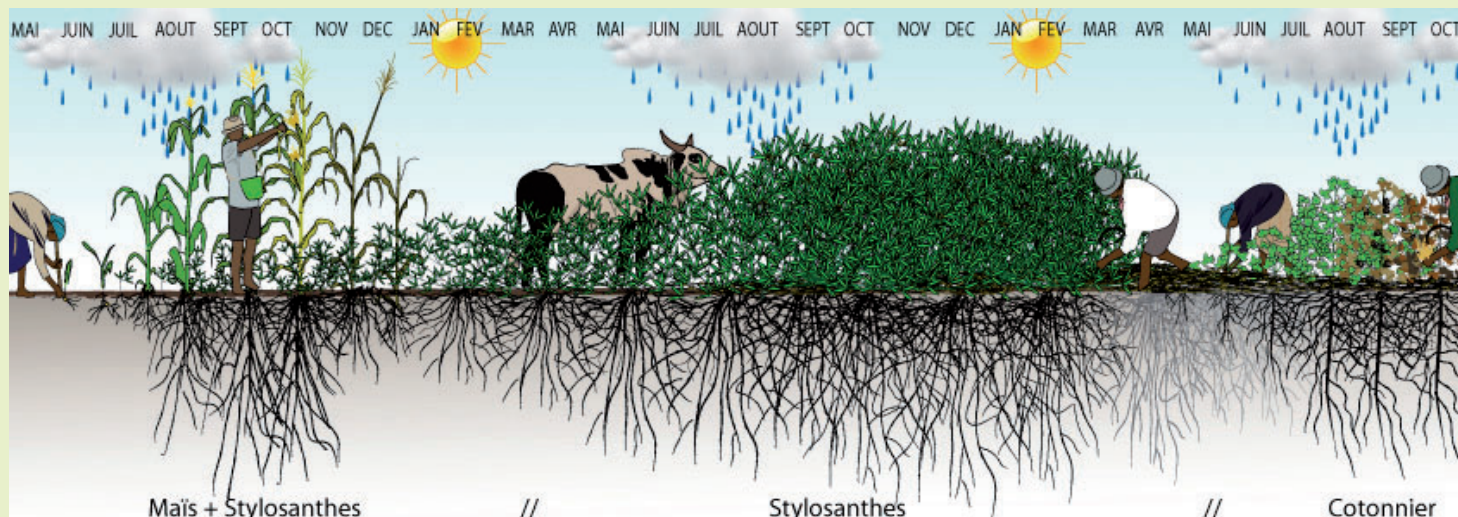
Association sorgho + mucuna

Principes et fonctionnement du semis direct

des adventices et des bioagresseurs, etc.)

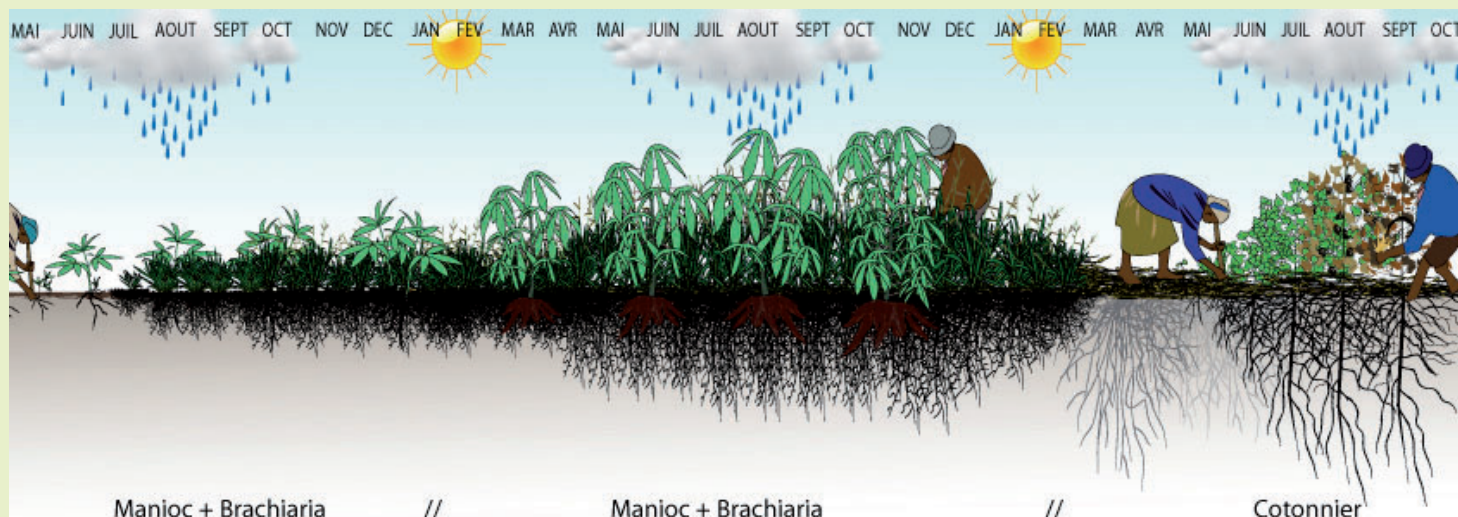
Lorsque l'espace disponible est suffisant,

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 décalant le semis, et de la (les) laisser se développer l'année suivante (jachère améliorée).



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.

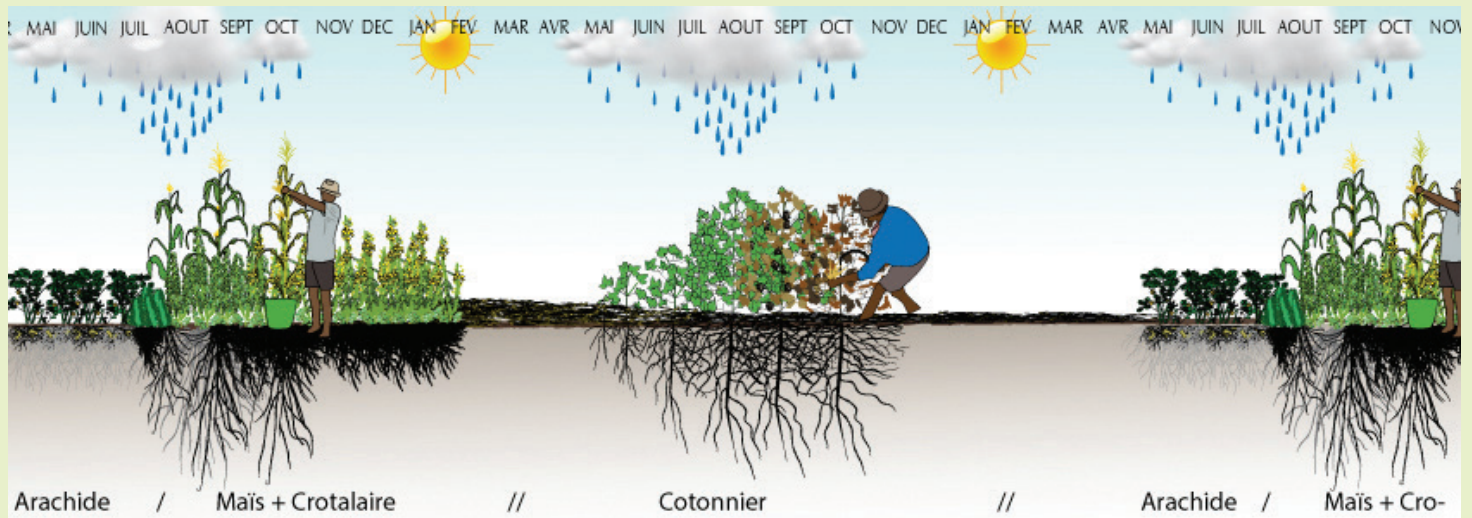
Plus la saison des pluies est longue et plus les pluies sont importantes (ou plus les plantes peuvent être alimentées en eau sur vertisols modal en saison sèche), plus il est facile de gérer successions et/ou associations et de produire une forte biomasse. Il faut cependant dans ces cas produire une très forte biomasse, sur des périodes

Principes et fonctionnement du semis direct

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 deux cycles de cultures par an au sud de la zone cotonnière.



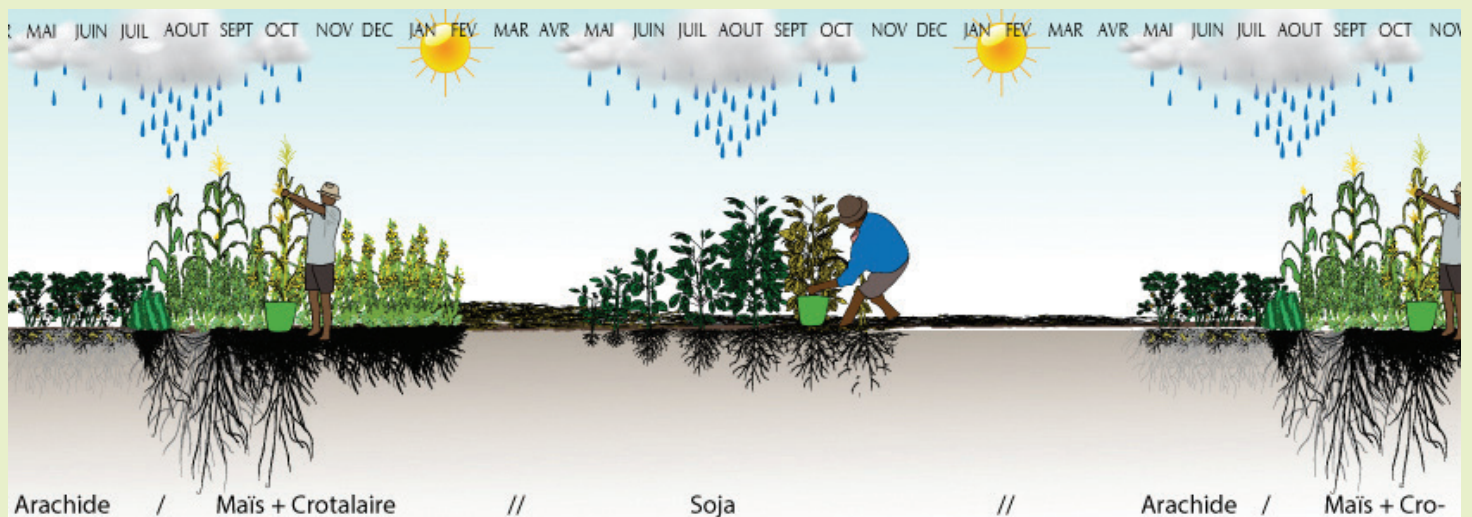
Exemple de succession intra-annuelle et association de cultures au sud de la zone cotonnière caractérisée par une longue saison des pluies

ou

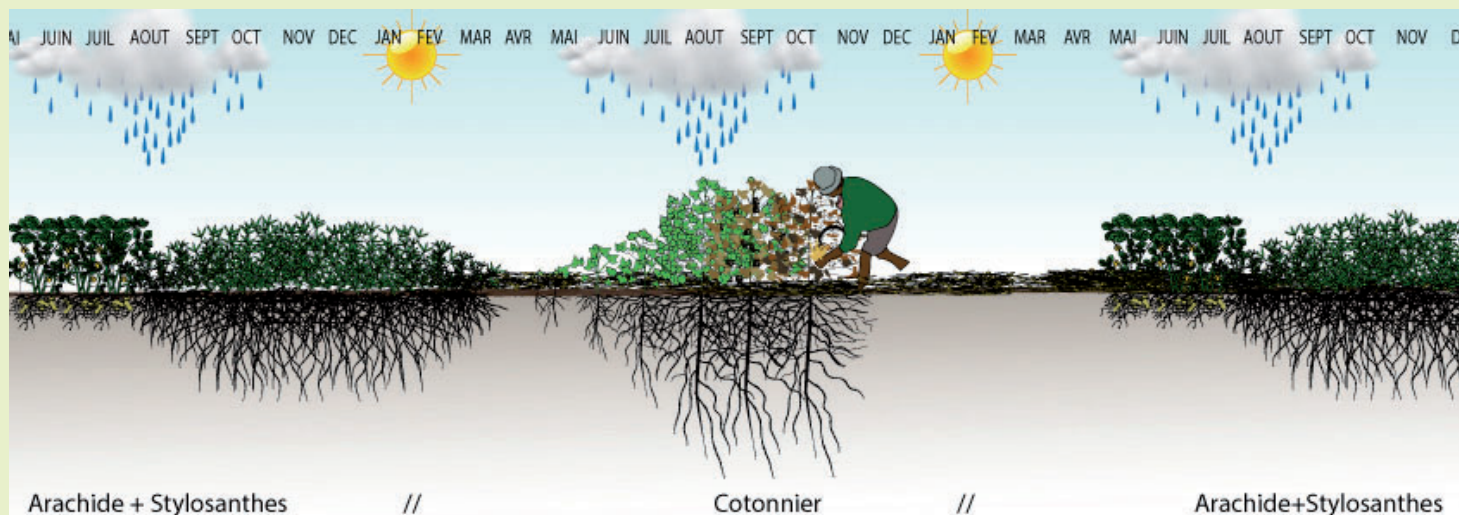
- cultiver des plantes pérennes associées à des couvertures vivaces, comme les arbres fruitiers sur une couverture de Stylosanthes dans les bas fonds)

Avec une saison des pluies relativement courte et/ou une saison sèche, la minéralisation est plus ou moins 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 l'arachide suivie d'une association maïs+crotalaire en rotation avec du soja
- une plante de couverture de cycle long, implantée après une culture et capable de supporter la saison sèche pour se développer rapidement dès les premières pluies/chaleurs, comme l'espèce *Stylosanthes guianensis* au sud de la zone cotonnière

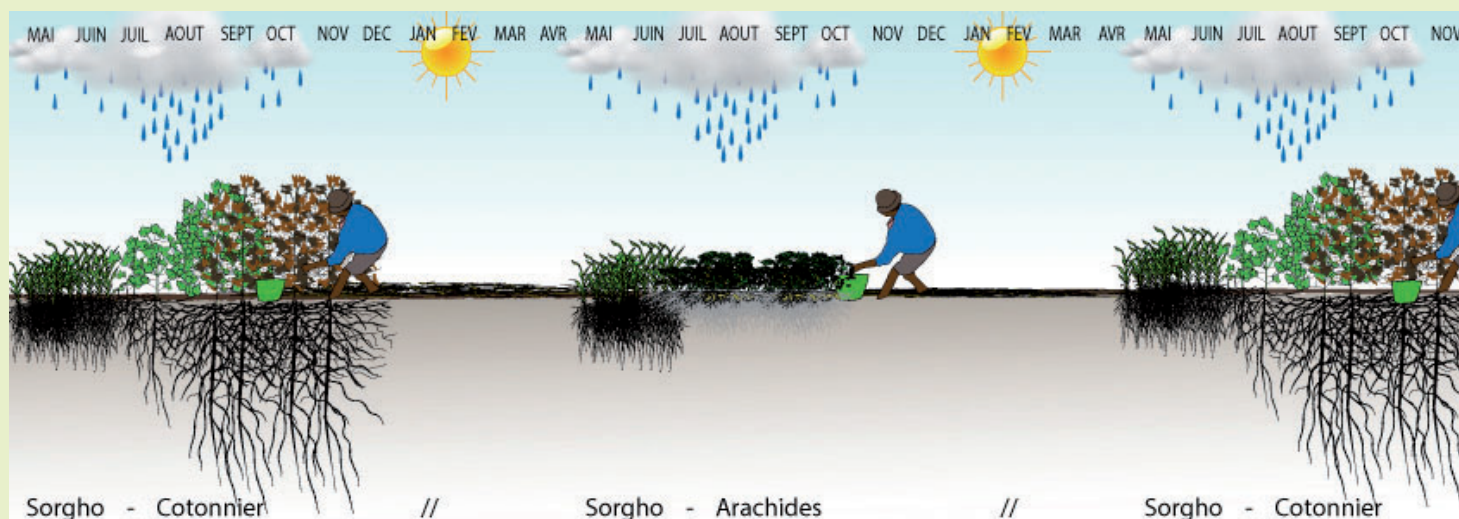


Principes et fonctionnement du semis direct



Exemple de succession intra-annuelle culture/plante de couverture de cycle long (production en période marginale - Arachide ou maïs suivi du stylo ou du Brachiaria)

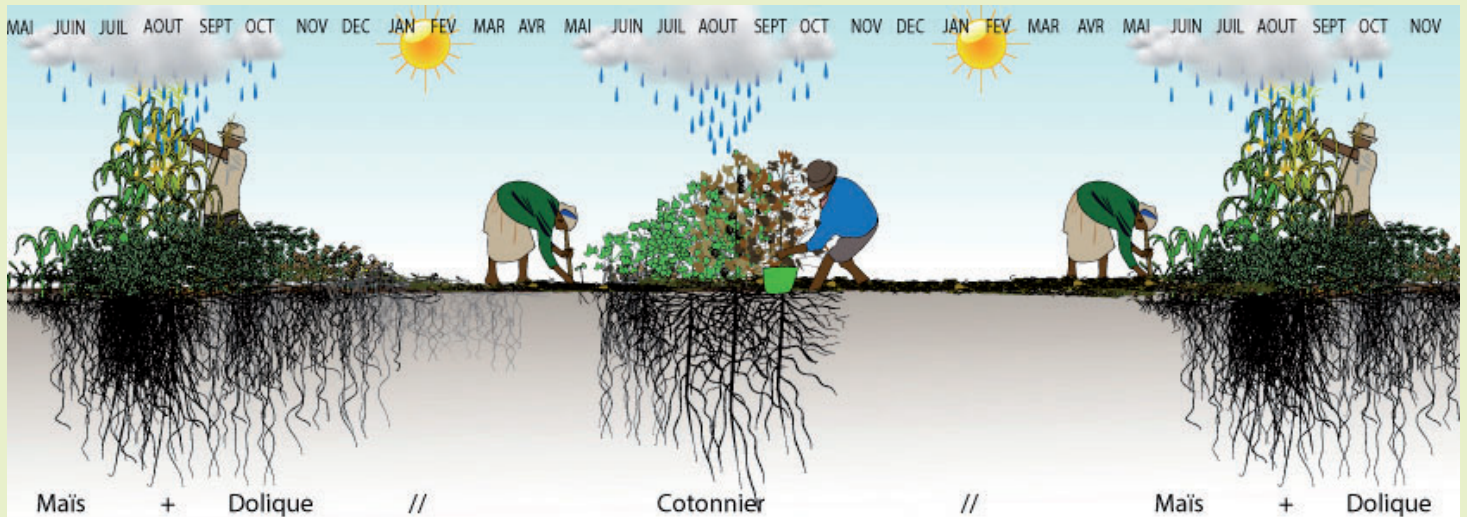
- une plante de couverture capable de produire très rapidement une forte biomasse, comme le sorgho installé précocement en début de saison des pluies.



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

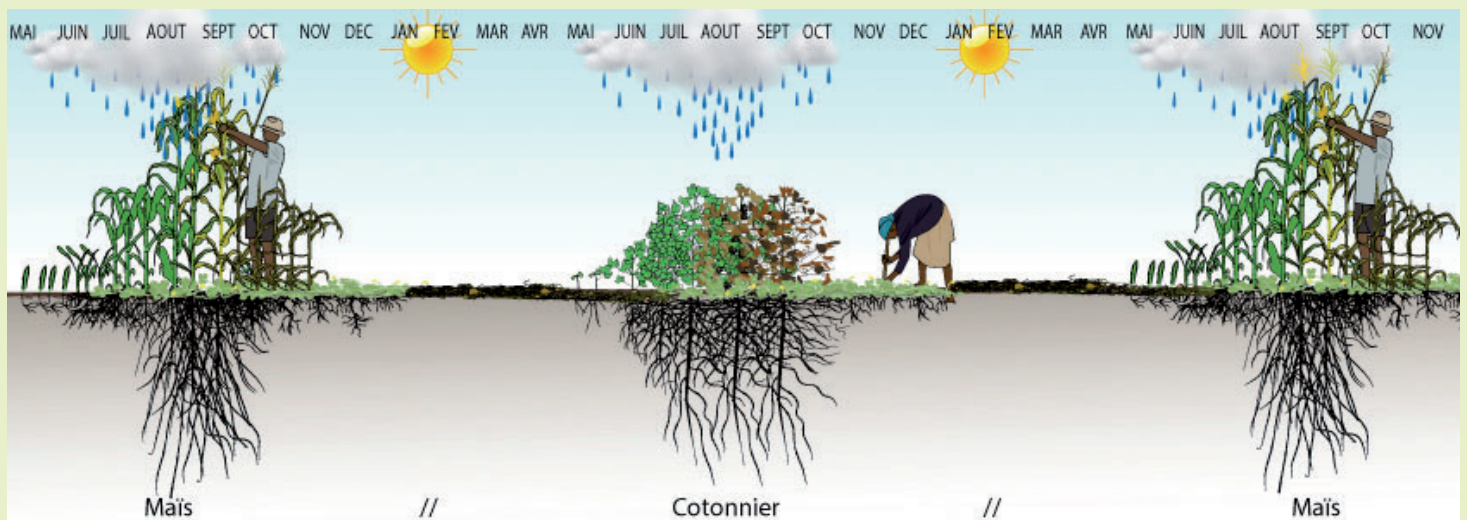
Principes et fonctionnement du semis direct



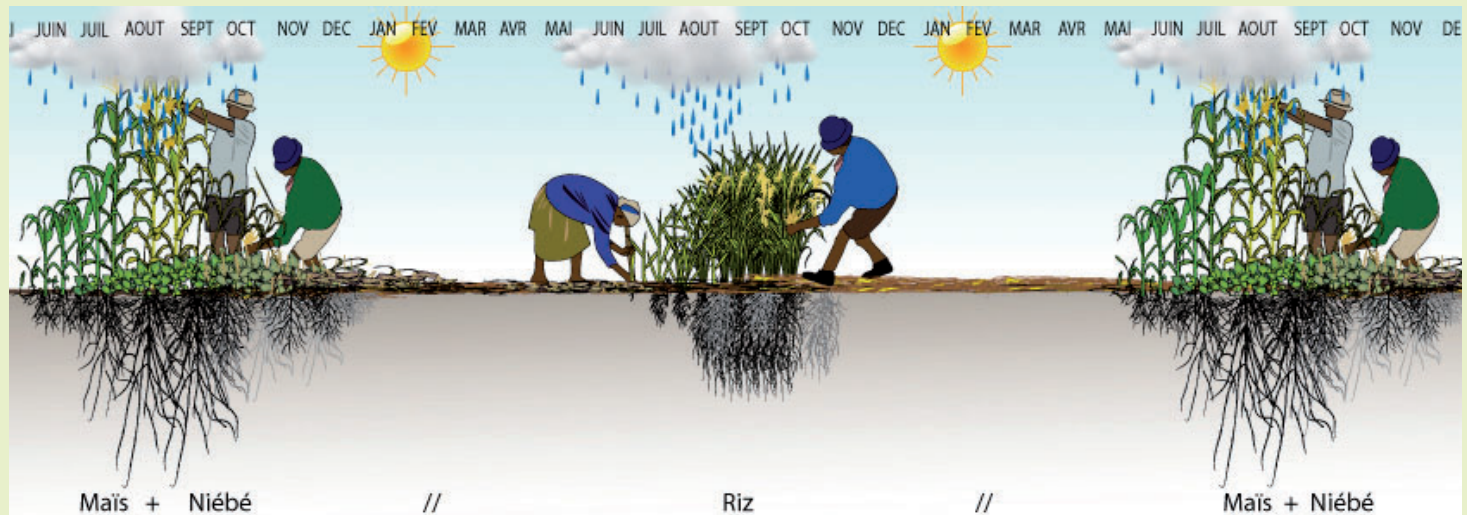
Exemple d'association culture + plante de couverture à cycle long (production en période marginale)

ou

- des plantes de couverture qui se ressèment utilisées en couverture vivante (*Centrosema pascuorum*, *Alysicarpus* etc)



Exemple de système sur couverture végétale vive

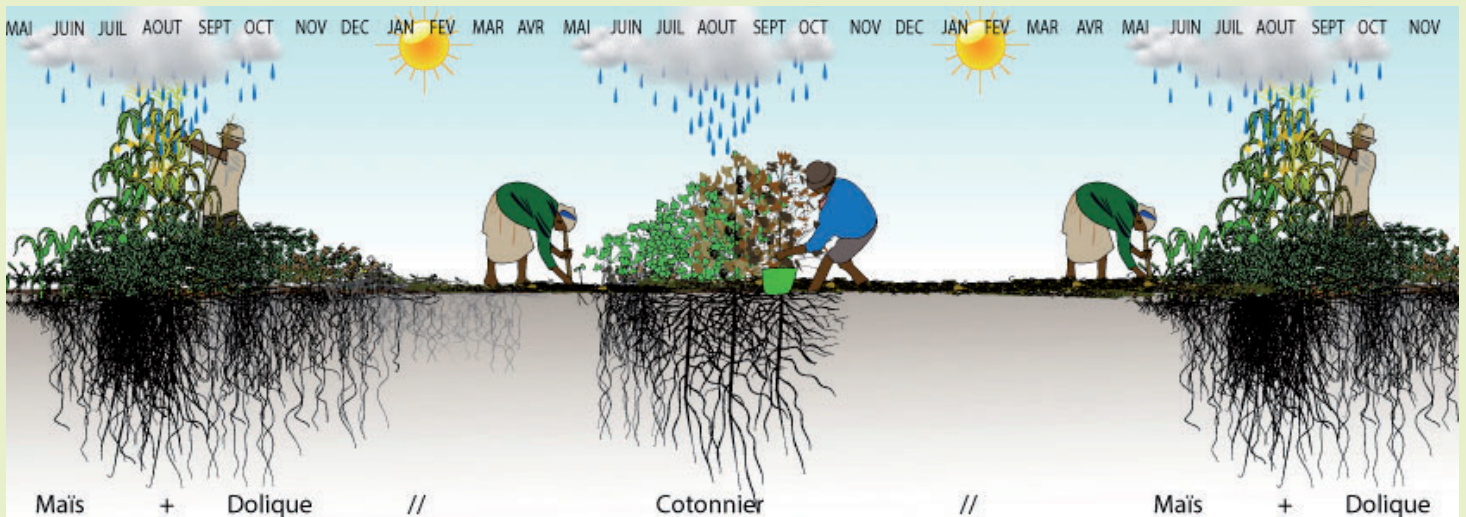


Exemple d'associations et successions interannuelles (climat à longue saison sèche)

Principes et fonctionnement du semis direct

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 interannuelles 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 sorgho ou maïs + niébé (ou dolique ou Brachiaria ou Crotalaire//riz très intéressant dans le nord de la zone cotonnière du Cameroun.

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 ou sorgho + dolique ou mucuna en précédent du cotonnier ou soja). 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, 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'itinéraire 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 (ou totale avec pulvérisateur à cache), voire 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.

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:

- des plantes à système racinaire pivotant (Cajanus, Crotalaire, etc.) avec des plantes à système racinaire fasciculé et puissant (Brachiaria, Eleusine) pour reconstruire rapidement macroporosité et microporosité 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

Principes et fonctionnement du semis direct

Mélanges d'espèces de plantes de couverture

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 Brachiaria par exemple). 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.



Bon développement du sorgho associé au *B.ruziziensis*

ou en profondeur du système racinaire) comme l'éleusine, le mil, le sorgho, les Brachiaria;

- des plantes capables de solubiliser (en interaction avec la microflore) des éléments nutritifs peu disponibles (Stylosanthes, Amaranthes, etc.);
- des plantes à effets allélopathiques puissants (Brachiaria, Crotalaire, etc.) pour le contrôle des adventices;
- des plantes répulsives ou à effets insecticides (Desmodium, plantes aromatiques diverses, etc.) pour le contrôle
- des insectes nuisibles;
- des plantes attractives d'entomopathogènes (champignons, nématodes, etc.) ou de prédateurs des bioagresseurs (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.

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 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 vivrière (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, amarante, sesbania, 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

Principes et fonctionnement du semis direct

Remplacer les plants manquants

Il est important de remplacer systématiquement les plants manquants (dus 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).

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) permet de réduire le risque climatique. Elle évite qu'un accident (vent violent, sécheresse, invasion des criquets 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.

(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

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.

Fertilité et production de biomasse.

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 la 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) réduit considérablement le temps d'obtention d'une biomasse importante, permettant une installation rapide des systèmes SCV.

Principes et fonctionnement du semis direct

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. 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 les densités) et ne permettent qu'une production supplémentaire limitée, qui doit être bien gérée pour éviter sa surexploitation et/ou destruction (divagation des animaux, exportation de la biomasse, feu de brousse)



Mélange restaurateur *Brachiaria ruziziensis* + *Crotalaria retusa*

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 chauffe, 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 modifiant simplement la gestion pour des systèmes SCV.

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.).



« Habillage » des systèmes paysans : Installation du niébé en relais au sorgho

Principes et fonctionnement du semis direct

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 $dC/dt = K_1A$ (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.

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;

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

Principes et fonctionnement du 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
La longueur de la saison de la culture (précipitation + régime hydrique) X température	Moyenne 5 à 7 mois	Sud de la zone cotonnière	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)	Nord de la zone cotonnière	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, 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. Restauration de la fertilité en fonction de l'état de dégradation des sols et des moyens disponibles.

qu'une remontée partielle de la fertilité pour la culture d'une plante exigeante peut avoir des conséquences désastreuses pour un exploitant. Les coûts 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.

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.

Principes et fonctionnement du semis direct

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.

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.

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.

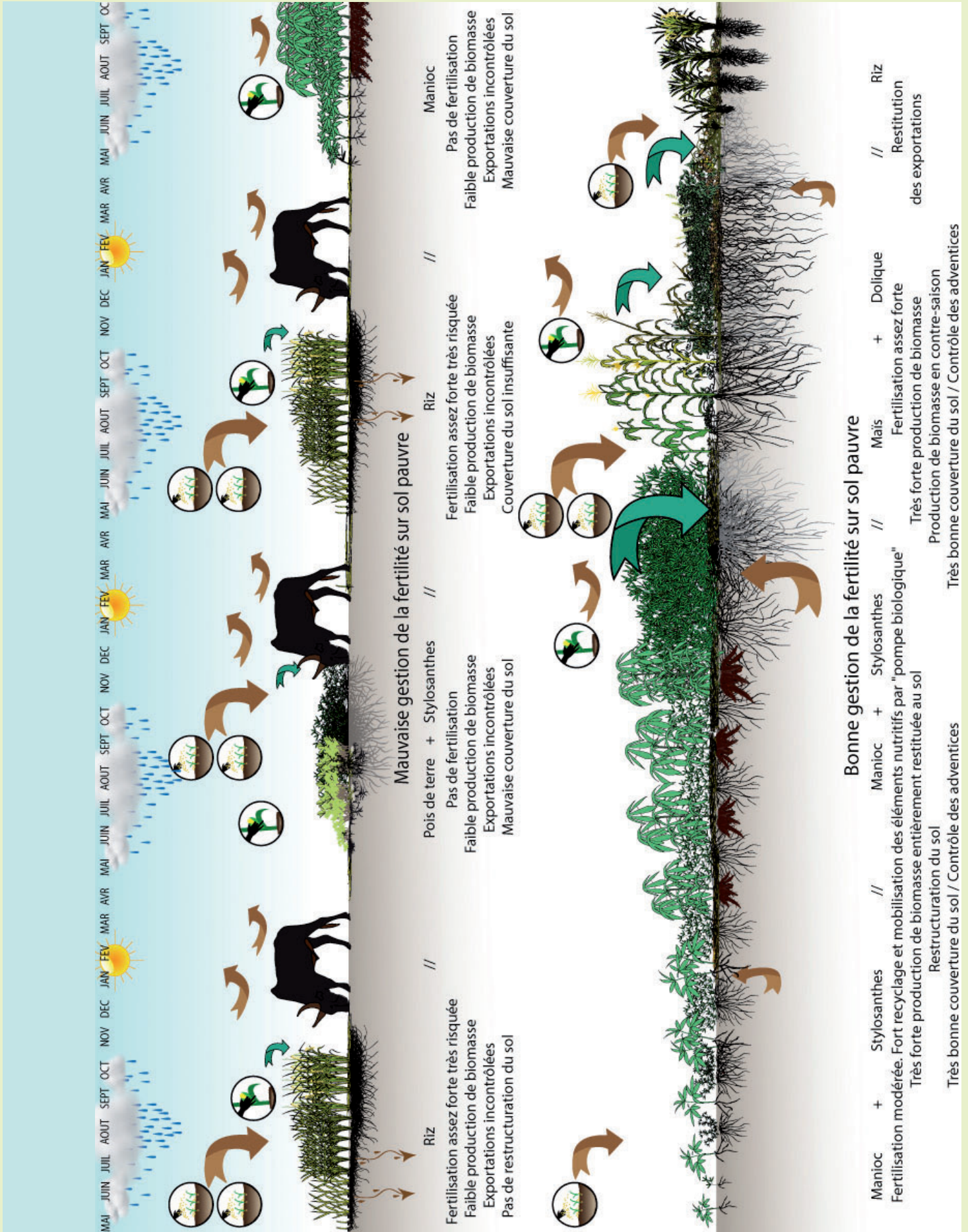
La principale difficulté réside dans la nécessité d'anticiper une chute de la production de biomasse, pour éviter qu'elle se produise. Une production insuffisante de biomasse, qui ne permet pas de couvrir les pertes, risque en effet de "désamorcer" les systèmes SCV et de rendre difficile le "pilottage"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



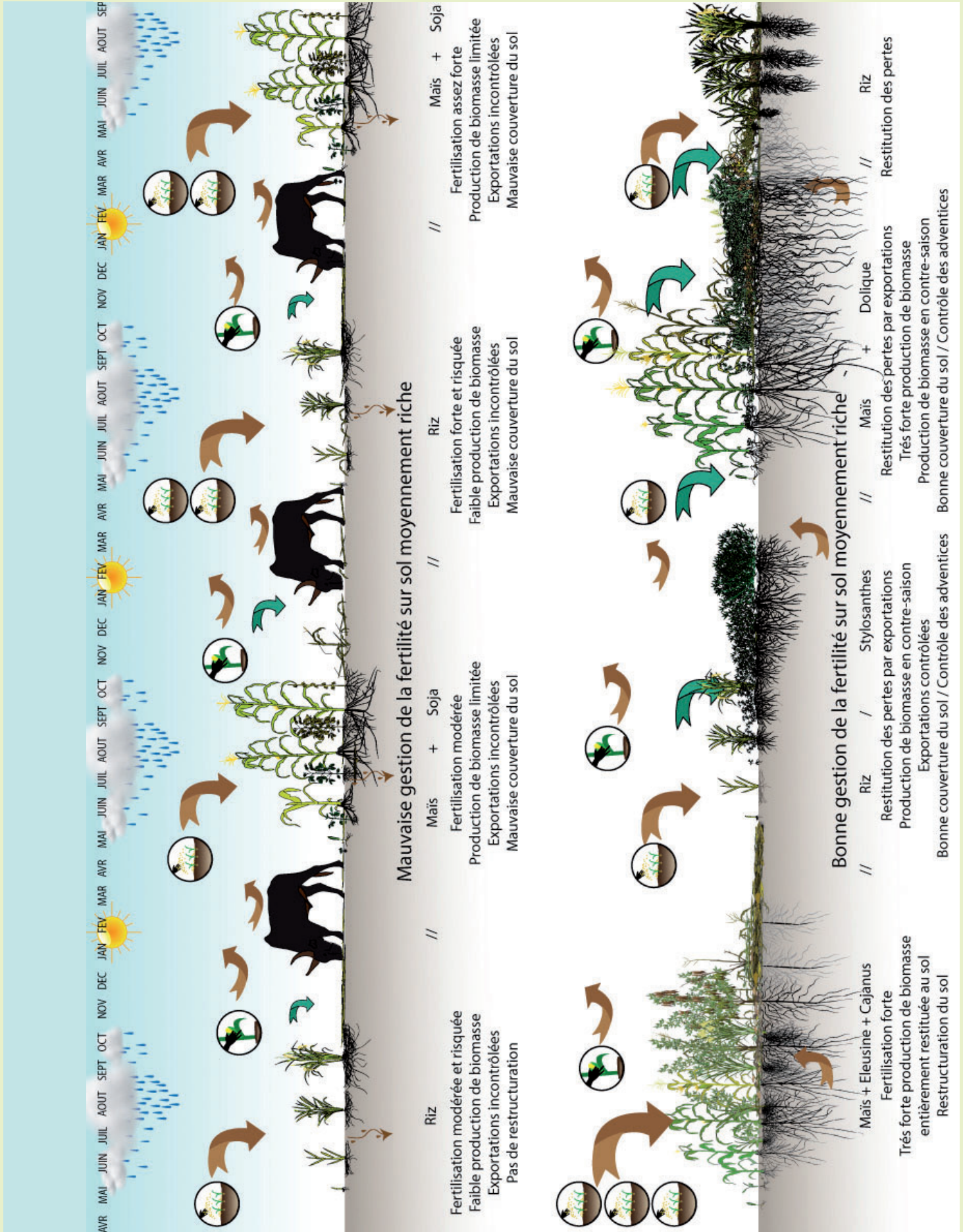
Apport localisé d'engrais minéral aux poquets

- le suivi précis de l'évolution des rendements et l'observation des signes de manques sur les cultures les plus exigeantes (baisse de rendement inexplicable, 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. À 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).

Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du semis direct



Principes et fonctionnement du 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 principale. 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 subséquentes, après minéralisation de cette biomasse.



Forte production de *Brachiaria ruziziensis* fertilisé sur sol dégradé

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/litière 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.

Eviter les blocages d’azote



Restructuration du sol par les systèmes racinaires puissants et l’activité biologique.
Association sorgho + *Brachiaria ruziziensis*

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 :

Principes et fonctionnement du semis direct

- 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, car il n'est cependant pas toujours possible de traiter une telle couverture à temps.

3. Gestion de la structure du sol en SCV.

Sur des sols compactés, l'installation de systèmes SCV performants passe par une décompactation rapide du sol. En année "zéro" de préparation des SCV, le recours à la décompactation 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'utiliser des plantes de couverture capables de remplir cette fonction rapidement (comme l'éleusine, les brachiarias, les crotalaires 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 maïs, qui demande une bonne macroporosité et a des besoins importants en eau.



Installation du niébé sur une couverture végétale naturelle contrôlée à l'herbicide total

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 en 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.

Principes et fonctionnement du semis direct

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 au Cameroun), mais pouvant être substitués par les herbicides totaux en utilisant les appareils avec cache. Il est donc indispensable de contrôler les plantes vivaces avant l'installation de la culture.

Pour l'installation de systèmes SCV sur couverture morte (couverture végétale naturelle par exemple) les plantes vivaces doivent être totalement contrôlées avant l'installation de la culture. Ce contrôle 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*, *Brachiaria* spp etc.), le contrôle peut être complété par la mise en place de plantes particulièrement efficaces pour nettoyer les parcelles, comme 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. 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 la Crotalaire).

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. 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.

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

Principes et fonctionnement du semis direct

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 suffisamment 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.



Contrôle des adventices par le paillage

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*), 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. A défaut, se servir d'un appareil avec cache en utilisant un herbicide tota

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 (iules, 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.)



Plante nettoyante : Crotalaria juncea

Principes et fonctionnement du semis direct



Riz sur biomasse de *Stylosanthes guianensis*

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 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.

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

Principes et fonctionnement du semis direct

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.

Au nord Cameroun, les caprices climatiques ne facilitent pas le respect du calendrier cultural. En effet, le démarrage de la saison des pluies se fait très souvent avec des faibles précipitations irrégulières (pluies parasites). Compte tenu de la très courte saison des pluies accentuée dans le nord de la zone cotonnière (3 à 4 mois), les producteurs sont contraints d'installer les cultures avec les toutes premières pluies pour éviter le retard qui pourrait être préjudiciable à la maturité des cultures. Cette période correspond à une surcharge du calendrier de travail dicté par le rythme des pluies. Il faut semer le maximum possible de surface en très peu de temps dépendant du taux d'humidité du sol. En outre, La petite mécanisation pouvant accélérer les travaux est quasi inexistante. Tous les travaux se font manuellement. Le semis des plantes de couverture pour certaines espèces intervient pendant la même période. Dans la logique du producteur, il faudrait réaliser le semis de toutes les cultures principales de son exploitation pour enfin s'occuper des plantes de couverture. Elles sont ainsi semées dans les interlignes des cultures principales qui sont déjà à un stade de développement avancé ne permettant plus aux plantes de couvertures de bien s'exprimer. Les plantes de couvertures n'assurent leur fonction que lorsqu'elles sont installées tôt pour produire assez de biomasse.

Le temps des travaux investi pour le semis des plantes de couvertures est récupéré lors du sarclage. Une bonne couverture permet d'économiser le temps nécessaire pour un à deux désherbages. La petite mécanisation adaptée au SCV en cours d'expérimentation permettrait d'alléger le calendrier cultural des exploitants

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 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/



Affaiblissement du *Brachiaria ruziziensis* par le surpâturage

Principes et fonctionnement du semis direct

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.



Vaine pâture dans les champs après la récolte

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 (individuellement 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 pouvant pas en assurer l'alimentation sur leur exploitation uniquement, et ont souvent une forte influence dans les décisions collectives du fait



Exportation partielle de la biomasse pour l'alimentation du bétail

Principes et fonctionnement du semis direct

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

- 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 dominance 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.

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.

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

Principes et fonctionnement du semis direct

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.

8. Les feux de brousse : une contrainte à prendre en compte au Nord Cameroun pour l'adoption des SCV.

8.1. Contexte.

Deux saisons alternent au Nord Cameroun au cours de l'année : une saison des pluies de mai à septembre et une saison sèche d'octobre à avril. De novembre à avril, un vent frais et sec, puis chaud souffle sur cette région du pays. Ce climat accélère et favorise l'assèchement de la végétation et la perte des feuilles chez certains arbres. Ceci amène progressivement la brousse à se revêtir de son manteau roux fauve conséquence de l'arrêt des pluies. Et en quelques semaines, toute la zone cotonnière est sous la menace des feux de brousse. En effet, dans le cadre de la gestion des parcs et des réserves forestières, les feux précoces sont autorisés en début de la saison sèche. Par ailleurs, il est de tradition dans cette partie du pays, l'utilisation des feux de brousse par les populations locales pour le nettoyage des parcelles de cultures ou les alentours des habitations dans les villages, mais aussi pour des besoins de chasse traditionnelle. Lorsqu'elles sont mal contrôlées, ces actions avec celles des pyromanes, contribuent au développement du phénomène de feux de brousse qui est malheureusement très récurrent au Nord Cameroun avec des conséquences souvent désastreuses.

Dans un contexte d'intensification des systèmes de production avec l'adoption croissante des techniques des systèmes de cultures sur couverture végétale permanente par les populations, les feux de brousse constituent une contrainte majeure à prendre en compte.

8.2. Causes et facteurs favorisant les feux de brousse.

Les feux de brousse sont causés dans la majorité des cas par l'homme d'une manière volontaire ou involontaire à travers ses activités de tous les jours, notamment :

- 1. La mauvaise gestion des feux «utiles».** C'est le cas par exemple des feux précoces souvent utilisés pour la gestion des parcs et des réserves forestières, ceux utilisés par les paysans pour le nettoyage des parcelles de cultures et les alentours des habitations dans les campagnes, etc.
- 2. Débordement des feux de chasse.** Dans le Nord Cameroun, le feu est souvent utilisé par certaines communautés pour la chasse ou pour la récolte du miel. Il arrive parfois que par mégarde ou sous l'effet des vents violents, le feu déborde les zones circonscrites à son utilisation et prend des proportions déplorables.
- 3. Actions criminelles.** Il peut s'agir des pyromanes ou simplement des personnes mal intentionnées voulant régler leur compte personnel avec un individu du village ou la communauté.

Principes et fonctionnement du semis direct

4. Feux à usages domestique. La nature de la plupart des habitations (cases au toit de chaume) dans les villages et la disposition des différentes unités dans une concession (cases, greniers, stocks de fourrage, salle de cuisine, etc.) constituent des prédispositions privilégiées pour les incendies. En effet, il suffit que dans le cadre des travaux ménagers de tous les jours, par mégarde les flammes ou des braises atteignent un combustible et toute la maison prend feu, avec des répercussions éventuelles dans le voisinage.

8.3. Dégâts causés par les feux de brousse.

Les feux de brousse engendrent chaque année des pertes énormes sur la nature, les hommes et leurs biens sous l'œil impuissant des victimes. Entre autres dégâts causés par les feux de brousse, on peut citer :

1. Pertes matérielles, vies humaines et animales. Lorsque les feux de brousses atteignent les lieux d'habitation, il s'en suit souvent de mort d'hommes, des animaux domestiques, des denrées alimentaires stockés et autres biens matériels. Dans certains cas, c'est le village entier qui est décimé, laissant ainsi des sinistrés de toutes sortes. Bref, les feux de brousse ont un impact très négatif du point de vue socio-économique.

2. Destruction de la biodiversité. Lorsque les feux de brousse passent, c'est la flore végétale en générale (végétation naturelle, les cultures, les résidus des cultures, etc.) qui est détruite, causant des dégâts collatéraux sur la faune. Ainsi, la biodiversité se trouve déstabilisée dans son ensemble.

3. Perte de la fertilité des sols. Le passage des feux de brousse dans les parcelles de cultures favorise et accélère l'appauvrissement des sols. En effet, les feux de brousse vident les sols de leur matière organique qui est la base même de leur fertilité.

8.4. Impact des feux de brousse sur l'adoption des SCV au Nord Cameroun.

Les feux de brousse constituent un frein sérieux pour l'adoption des SCV au Nord Cameroun.

En effet, dans le cadre des SCV la reconstitution de la matière organique du sol repose sur le principe de production et de conservation des résidus des cultures in situ, et soumis au processus de transformation naturelle (humification et minéralisation). Aussi, toute exportation physique de la biomasse sur un sol est à éviter au maximum. Or, les feux de brousse lorsqu'ils passent déciment à la fois toute la faune et la flore se trouvant sur son passage, laissant le sol complètement nu. Cette situation, non seulement affecte la dynamique de la matière organique du sol, mais aussi le prédispose à un travail du sol pour la production éventuelle des cultures sur ce sol. Ceci foule au pied les deux (des trois) principes de base des SCV (couverture permanente du sol et suppression du travail du sol). Dans cette logique, il est clair que tant que le phénomène des feux de brousse n'est pas maîtrisé dans le Nord Cameroun, l'adoption des SCV reste illusoire.



Dégâts causés par un feu de brousse sur la végétation naturelle

8.5. Dispositions légales sur les feux de brousse au Cameroun.

Le gouvernement Camerounais a pris conscience de ce fléau depuis la période des indépendances. C'est ainsi que dans le code forestier, un accent particulier a été mis sur la gestion des feux de brousse à travers des décrets :

- Décret de 1994, relatif à la loi N° 94 du 20 janvier 1994 portant régime de la faune et de la pêche : il concerne les forêts non permanentes et stipule que «Les Préfets réglementent l'utilisation des feux de brousse. Par ailleurs

Principes et fonctionnement du semis direct



Feu de brousse sur une biomasse produite dans une parcelle SCV

en cas d'autorisation de feu, les auteurs doivent être présents sur les lieux jusqu'à son extinction. En cas de dérive les amendes vont de 5000 FCFA à 50 000 FCFA et un emprisonnement ferme de 10 jours».

• Décret N°95/531/PM du 23 Août 1995 fixant l'application des régimes des forêts : il concerne les forêts permanentes et «interdit les feux de brousse dans ses articles 6 et 8. En cas de dérives les amendes vont de 200 000 FCFA à 1 000 000 FCA et un emprisonnement ferme de 1 à 6 mois».

8.6. Cadre théorique de gestion des feux de brousse pour faciliter l'adoption des SCV au Nord Cameroun.

La problématique des feux de brousse au Nord Cameroun est un sujet très délicat dont il convient de traiter avec beaucoup d'attention. En effet, il est souhaitable que dans leur mise en application, une certaine flexibilité soit accordée par les pouvoirs publics pour permettre la valorisation de certaines réalités socioculturelles locales. Cela permettrait de diversifier des cas pratiques de mis en œuvre des (mêmes) textes en fonction des réalités locales tout en restant fondamentalement dans le cadre légal.

Dans le cadre de l'accompagnement du processus d'adoption des SCV, il a été mis en place dans les villages d'adoption de la zone cotonnière camerounaise des structures locales chargées de l'évaluation du processus appelées **Comités de Concertation SCV (CC)**. Ces comités sont des instances représentant toutes les sensibilités sociales dans les villages/terroirs d'adoption des SCV, mis en place par la communauté au service de celle-ci. Dans leur fonction, ces comités coordonnent la programmation des activités agropastorales, leur mise en œuvre, le suivi-évaluation et la gestion éventuelle des conflits sociaux au niveau du village. Ainsi, la flexibilité de mise en œuvre des textes trouve sa justification ici dans la mesure où elle permettrait l'émergence et l'intégration des nouvelles règles locales de gestions des ressources naturelles en fonction des thématiques complexes comme le cas des SCV.



Réunion de concertation des paysans dans un terroir

8.7. Rôle des acteurs dans la gestion des feux de brousse pour accompagner l'adoption des SCV au Nord Cameroun.

Pour que les feux de brousse soient combattus avec efficacité ou maîtrisés dans le Nord Cameroun et faciliter l'adoption des SCV par les populations de la zone cotonnière plusieurs acteurs sont interpellés et à différents niveaux :

8.7.1. Les pouvoirs publics.

Dans un premier temps il est impératif de veiller à l'application stricte des textes réglementaires existants. De ce fait, les pouvoirs publics et les populations ont intérêt à collaborer efficacement pour permettre l'application de ces textes qui, au-delà de la question des SCV, contribuera énormément à la préservation du patrimoine agroforestier national. Un travail en amont par les pouvoirs publics est nécessaire en termes de communication : informer et sensibiliser les populations sur la problématique des feux de brousse telle que traitée par les textes.

8.7.2. Les populations.

De manière générale, les populations doivent s'organiser et faire preuve de responsabilité dans un esprit

Principes et fonctionnement du semis direct

patriotique. Elles doivent avant tout prendre conscience des conséquences énormes de feux de brousse sur la nature, les parcelles de cultures, les zones de pâturage ou de chasse, les villages, les habitations, etc.

De manière spécifique pour les villages/terroirs d'adoption des SCV de la zone cotonnière, l'organisation des producteurs en Groupement d'Initiative Commune (GIC) dans le cadre de la production du coton et des vivriers et un atout. Mais il revient de plus aux comités de concertation mis en place de jouer un rôle fondamental d'animation et de formation des populations pour permettre un bon processus d'adoption des SCV. Ces comités doivent de ce fait :

- Sensibiliser les populations sur la nécessité de prévenir les feux de brousse : mise en place des pare-feux et des piquets peints (en rouge) autour des blocs ou parcelles SCV, s'assurer d'avoir éteint complètement un feu après utilisation, éviter de mettre du feu quand il vente trop et à proximité des produits combustibles, cultiver l'esprit de solidarité pour l'extinction collective des feux lorsqu'ils déclarés dans un coin du village, informer les population des conséquences juridiques qu'elles courent en cas de feux de brousse, etc.
- Former les populations sur les techniques de maîtrise des feux de brousse : l'utilisation du sable, de l'eau ou des branches d'arbres ; la création des bandes vides pour mettre à l'abri une zone du feu, etc.
- Organiser des patrouilles autour des zones à protéger,
- Favoriser l'émergence de nouvelles règles de gestions des feux de brousse au niveau du village à l'attention des chasseurs, récolteurs de miel, etc.
- Veiller à l'application des règles de gestions des feux de brousse adoptées par le village
- Organiser le terroir en zones d'activités spécifiques de manière à permettre une bonne intégration entre les différents acteurs principaux (agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs).

Mais pour rendre ces comités de concertation plus efficaces, il est souhaitables qu'ils soient connus et reconnus par les pouvoirs publics et soient accompagnés et appuyés par ces derniers dans toutes leurs activités.

9. 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 agro-forestiers (avec couverture végétale permanente du sol).

9.1. 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 arbustive (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.

9.2. 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 les plantes rampantes (comme *Centrosema*) une fois installées ne demandent qu'un faible entretien



Le *Centrosema* : bon protecteur des sols dans les vergers

Principes et fonctionnement du semis direct



Stylosanthes guianensis : bon protecteur des sols dans les vergers

(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 l'espèce *Stylosanthes guianensis*) 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).

9.3. 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.

10. 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 maîtrisent ces techniques de semis direct et en perçoivent les avantages, les paysans abandonnent rarement le semis direct. Cette étape de transition est particulièrement

Principes et fonctionnement du semis direct

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, de vent violent ou de sécheresse), 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 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'apport de la fumure organique) ;
- 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.

11. 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'acquiert 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 *Brachiaria* 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. Dans le contexte Nord Cameroun, ceci a été fait suivant une approche d'habillage des systèmes traditionnels simples. En effet, il suffit juste d'associer des plantes de couverture choisies selon les types des exploitations et des problèmes inhérents aux parcelles, de manière à répondre aux besoins du producteur (production des grains), de résoudre le problème de la parcelle, et de produire suffisamment de la biomasse pour les cultures sur biomasse en seconde année. Progressivement, on a pu introduire des systèmes avec entrée



Rendements croissants avec le semi direct



Visite d'un site expérimental SCV par les étudiants d'une école d'agriculture

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct

plante de couverture directement soit pour le fourrage ou la production des semences.

12. Conclusions. Gestion intégrée des systèmes SCV

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



Pois de terre sur biomasse de Stylosanthes guianensis

- 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 d'avoir produit une très forte biomasse, et/ou d'avoir installé 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.

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.



Association maïs + Crotalaria retusa

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.

Principes et fonctionnement du semis direct





Pour bénéficier rapidement des effets des pratiques SCV, il est nécessaire d'obtenir un fort différentiel "biomasse restituée au sol - biomasse perdue" dès les premières années d'entrée dans des systèmes SCV. Ce fort différentiel permet à ces systèmes de remplir leurs fonctions écosystémiques, et conduisent à une amélioration rapide des sols et à la restauration d'équilibres écologiques. Ces améliorations, dans un cercle vertueux, facilitent l'obtention d'une production importante de biomasse et permettent d'alimenter facilement la "pompe" des SCV les années suivantes. Sur des sols dégradés, l'obtention d'une forte production de biomasse les premières années passe par la restauration de la fertilité par apport d'engrais (organiques ou minéraux), écobuage et/ou utilisation de plantes de couverture capables de produire une forte biomasse sur des sols peu fertiles. Plus les sols sont dégradés, plus "l'amorce" des systèmes SCV est difficile, longue et/ou coûteuse. En dessous d'un certain niveau de dégradation, elle n'est pas rentable durant les premières années et nécessite un investissement. En revanche, dans de très nombreuses situations agronomiques, la grande diversité des systèmes et des itinéraires techniques possibles en SCV permet d'adapter les pratiques à la grande diversité des situations socio-économiques. Elle permet de proposer des systèmes économiquement rentables, durables et motivants, compatibles avec les moyens et les niveaux de risques acceptables par les différents types d'exploitations. La diversité des systèmes possibles et leurs intérêts, ainsi que leur facilité de mise en œuvre, dépendent cependant largement des conditions biophysiques (climat, sols, etc.) et socio-économiques (systèmes agraires, systèmes d'élevage, conditions de marchés, règles communautaires, etc.). Certains milieux peu contraignants (espace et moyens disponibles, faible pression sur la biomasse, etc.) offrent de nombreuses possibilités d'amélioration, par des systèmes faciles à gérer. A l'inverse, des milieux contraignants (forte pression sur la biomasse, faible potentiel de production, moyens limités, etc.) demandent une adaptation fine des systèmes SCV et de leur gestion.



cirad

