

RASOLO F., RAUNET M. (éditeurs scientifiques), 1999. Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 mars 1998. Anae, Cirad, Fafala, Fifamanor, Fofifa, Tala. Montpellier, France, Cirad, collection Colloques, 658 p.

Semis direct sur couverture végétale permanente du sol : de la technique au concept

M. RAUNET¹, L. SEGUY², C. FOVET RABOTS³

Résumé. Semis direct sur couverture végétale permanente du sol : de la technique au concept. Dans les régions agricoles intertropicales, les systèmes de culture fondés sur le semis direct dans une couverture végétale permanente du sol constituent une voie nouvelle de préservation et de valorisation durable des ressources naturelles. Ils consistent à installer des plantes productrices de biomasse qui fabriquent une couverture végétale permanente, vivante ou morte, dans laquelle sont semées les cultures principales. Les effets attendus intéressent les agriculteurs-suppression du travail du sol, souplesse du calendrier cultural, emploi minimal d'intrants, stabilité des rendements, marges nettes élevées, fixation des familles rurales sur un espace limité, suppression de l'érosion, restauration de la fertilité du sol avec réactivation de la vie biologique et création d'une structure favorable. Ces systèmes en semis direct sont en place sur quelques millions d'hectares au Brésil en culture motorisée. Ils sont en cours d'adaptation en Afrique et dans l'océan Indien en petit paysannat. La création de ces systèmes est indissociable de méthodes qui impliquent, à égale importance, les agronomes généralistes de terrain et les professionnels agricoles: les expérimentations qui ont abouti à ces résultats ont été construites chez les agriculteurs et améliorées avec eux en fonction de leurs conditions techniques, économiques et sociales. Ces sites constituent des espaces privilégiés pour les recherches thématiques

les processus mis en jeu sont complexes et ne sont pas de même nature que ceux impliqués dans l'agronomie classique avec travail mécanisé du sol, telle qu'elle est développée dans les pays du Nord.

Abstract Direct sowing on permanent vegetal soil cover : front thé technique tu thé design. In agricultural intertropical areas, the cropping systems based on direct sowing on permanent vegetal soil cover constitute a new way of sustainable preservation and valorization of natural resources. They consist in implementation of biomass producing plants (*Pueraria* sp., *Sorghum guinea*, *Mucuna* sp.), which make a permanent vegetal mulch where the main crops are sown. Those systems have multiple effects interesting as much for farmers--no more tillage, flexibility of crop agenda, minimum inputs use, yields stability, high net benefit, fixation of rural population in limited space-, as for the environment-erosion suppression, regeneration and maintenance of chemical and biological fertility, creation of a favorable structure in depth. Those techniques do not go towards a biological agriculture but they do follow agroecological principles. In Brazil, they are implemented on several millions of hectares in mechanized agriculture. In West and Central Africa and in Indian Ocean islands they are being adapted. The way of being conceived now, the creation of those systems can not be dissociated from participative research-development methods which imply, equally important, general agronomists and agricultural professionals: ail expérimentations having come up with those results were implemented with farmers and improved with them according to their technical, economical and social conditions. Those sites are privileged for thematic researchers: the agronomical processes involved stake are complex and on different bases than those explaining classical agronomy components, such as those developed in Northern countries.

Résumé. Plantio direto em cobertura vegetal perene do solo: da técnica ao conceito. Na regiões agrícolas intertropicais, os sistemas de cultura baseados no plantio direto numa cobertura vegetal perene do solo representam um novo caminho para preservação e valorização sustentadas dos recursos naturais. Trata-se de implementar plantas produtoras de biomassa que fabricam um mulch vegetal perene, vivo ou seco, no qual são semeadas as culturas principais. Os efeitos esperados interessam aos agricultores - abri do trabalho do solo, flexibilidade, do calendário anual, usa mínima de insciras, estabilidade dos rendimentos, margens líquidas aitas, fixação cas famílias rurais nom espaça limitado-os arredores-supressão da erosão, restouro da fertilidade, reativação da vida biológica, criação de uma estrutura grumosa profunda. Elas estão sendo desempenhadas em milhbes de hectares no Brasil em cultura motorizada. Estao sendo adaptadas na Africa e no Oceano Indiano. A elaboração de tais sistemas é indissociável dos métodos que implicam, sendo cada uns de importância igual, o agrdnomos geralistas de terreno e os profissionais agricolas : os ensaios que levaram a estes resultados forant desempenhados nas fazendas dos agricultores e melhoradas junto com eles de acordo com suas condições técnicas, econbmicas e sociais. Tais sitios constitua espaços privilegiados para pesquisas temáticas : os procedimentos são complexas e diferentes dos que explicam os componentes de uma agronomia cassica, coma a desenvolvida nos paises do Norte.

Introduction

En région tropicale, les pratiques agricoles ne sauraient être calquées sans risque de l'agriculture intensive des régions tempérées, car les contextes naturels et humains sont totalement différents. Sur le plan des contraintes techniques, l'érosion, l'instabilité climatique et l'emprise des mauvaises herbes constituent les écueils majeurs à une agriculture rentable et durable. Pour répondre à ces difficultés, des agriculteurs et des agronomes ont mis au point des systèmes de culture fondés sur le semis direct dans une couverture végétale permanente du sol. En place sur des millions d'hectares au Brésil en culture motorisée, ils sont en cours d'adaptation en Afrique et dans l'océan Indien. La création de ces systèmes est indissociable de méthodes qui impliquent des agronomes généralistes et les professionnels agricoles. Ils constituent aussi des espaces privilégiés pour les recherches thématiques car les processus mis en jeu sont complexes.

¹ CIRAD-CA, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

² CIRAD-CA, a/c Tasso de Castro, BP 504, Agencia Central CEP, 74000-970 Goiânia GO, Brésil

³ CIRAD-DIST, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Cette communication offre un panorama rapidement brossé de ces systèmes, à travers quelques exemples et quelques questionnements marquants. Après avoir pointé les contraintes écologiques et économiques de l'agriculture tropicale, nous verrons celles qui ont pu être à l'origine des techniques fondées sur le semis direct. Nous en expliquerons les principes et les conditions techniques de réalisation. Nous en soulignerons les effets principaux, qu'ils soient positifs ou négatifs, aussi bien à l'échelle de la plante qu'à celle de l'exploitation. L'observation des effets ouvre la voie à de nombreuses recherches thématiques, pour lesquelles nous apporterons des suggestions. Enfin, nous donnerons les grands axes de la démarche relative à la recherche, à l'expérimentation et au développement liés à ces pratiques originales.

L'agriculture tropicale, une activité à forts risques écologiques et économiques

Les régions tropicales sont sujettes à des contraintes qui concernent directement les populations rurales. Elles sont liées à des conditions économiques très fluctuantes et à des caractéristiques naturelles spécifiques - sols et climats -, dont les paysans ne peuvent s'affranchir sans pratiquer une agriculture adaptée, qui peut être totalement différente de celle des régions tempérées.

L'ensemble de ces contraintes est perçu à plusieurs niveaux par les acteurs du développement rural (tableau I). L'agriculteur réagit à ce qui touche au court terme, c'est-à-dire les conditions de la campagne agricole, la récolte attendue et les conséquences sur les conditions de vie familiale. La société de développement ou le projet peuvent attendre des résultats économiques régionaux propres à favoriser l'intégration des acteurs dans l'économie de marché. Le politique a encore d'autres visées; quant au chercheur, il s'intéresse à la durabilité à long terme et aux processus biologiques et physico-chimiques en cause.

Nous voyons, à travers cette liste des aspects contraignants, qu'il est difficile de les isoler les uns des autres. Ainsi, une mauvaise mise en place des cultures, ce qui est souvent le cas, par manque d'équipement, de main-d'œuvre ou de techniques adaptées, entraîne le plus souvent les risques suivants : baisse de la fertilité, pression croissante des mauvaises herbes, production faible, difficulté de gestion de l'exploitation, etc. Pour peu que les conditions pluviométriques soient défavorables (excès ou insuffisance) et que la densité d'occupation des terres soit forte, la dégradation de l'espace rural et des conditions économiques est encore accélérée.

Du point de vue de l'agronome de terrain, ces contraintes appellent des solutions durables qui touchent l'ensemble du système de culture ; les conditions économiques régionales en constituent la toile de fond, qui peut être motivante ou réductrice. Toutefois, sur le plan local, l'expérience montre qu'une innovation technique qui intéresse fortement le paysan - c'est-à-dire qui répond à ses préoccupations à court terme- peut devenir le germe d'un changement dans l'organisation sociale et économique.

Les conditions à l'origine des techniques fondées sur le semis direct

Parmi les problèmes énoncés au tableau I, les agronomes de terrain et les agriculteurs jugent deux d'entre eux comme les obstacles majeurs auxquels est liée, de près ou de loin, la plupart des autres contraintes - comment traiter la perte de fertilité physique des sols, incluant l'érosion, à l'échelle du milieu cultivé, alors que les techniques culturales en constituent l'une des principales origines? - comment gérer ou éliminer la concurrence des adventices, alors que les contraintes matérielles de l'exploitation sont fortes?

En agriculture tropicale, les solutions appliquées à ces deux problèmes sont variées et obéissent à des degrés divers de sophistication, mais elles ont toutes en commun les trois points suivants - remaniement minimal du sol à l'endroit du semis; - semis direct dans des résidus végétaux ou dans un couvert végétal vivant; - jamais de sol nu ; pas de brûlis des résidus de récolte ou de la jachère.

On peut citer de multiples exemples d'agricultures qui répondent à ces trois critères. Il existe des systèmes traditionnels (TRIOMPHE, 1996; THURSTON et al., 1994) comme le semis au bâton fousseur sur défriche en Afrique équatoriale, l'association maïs-Mucuna, les systèmes frijol-tapado (haricot sur jachère herbeuse) et popal (maïs sur mulch de jachère à *Thalia*) en Amérique centrale. En grande culture motorisée, ce type de technique a vu le jour après l'apparition du paraquat (herbicide foliaire total diffusé à partir de 1956, à effet non rémanent), tels que le semis direct sur résidus de récolte et le travail minimum du sol aux Etats-Unis, au Canada, au sud du Brésil et en Australie. En culture motorisée dans les savanes humides du centre-ouest du Brésil, les systèmes comportant des cultures principales et des cultures destinées à des mulchs permanents se développent très vite depuis les années 80, y compris en association avec l'élevage (SEGUY et al., 1996, 1998a, b, c). Ainsi, en 1997, le Brésil comptait 7 millions d'hectares en semis direct - soit 20 % de sa surface cultivée ; 10 à 25 % de la surface cultivée des pays d'Amérique du Sud comme l'Argentine, le Chili et le Paraguay sont en semis direct.

Les systèmes mis au point par le CIRAD dans le centre-ouest du Brésil ont ouvert une voie expérimentale qui touche aussi bien la grande culture que le petit paysannat. C'est ainsi qu'au centre du Brésil, d'importants producteurs privés de coton s'intéressent et testent le semis direct du cotonnier dans un mulch végétal (SEGUY et al., 1998b, c). En Côte d'Ivoire, des systèmes incluant des plantes de couverture, en mulch (tapis mort) ou en couverture vivante (tapis vivant), sont testés (CHARPENTIER et al., à paraître). A Madagascar, le paillage des sols avec des herbes de la jachère est pratiqué, ce qui a supposé de la part des agriculteurs et des éleveurs une entente pour ne pas brûler la savane ; des systèmes avec des plantes de couverture sont en cours de mise au point dans la plupart des écologies de l'île (FELBER et RAJOHARISON, 1995; ROLLIN, 1997; SEGUY, 1996 et 1997).

Dans les hauts de l'île de la Réunion, région productrice d'huile essentielle de géranium rosat, avant la généralisation des herbicides, les agriculteurs laissaient envahir leurs parcelles de *Setaria pallide fusca* au lieu de garder un sol nu. Aujourd'hui, à la suite de recherches, le choix des espèces de couverture, dans lesquelles sont plantés le géranium et des espèces maraichères, s'est porté sur les espèces fourragères *Pennisetum clandestinum* et *Lotus uliginosus* (MICHELLON, 1996).

D'après ces exemples, nous voyons que le terme générique de semis direct recouvre plusieurs réalités : semis sans labour, c'est-à-dire dans les résidus de la culture précédente, semis dans un mulch plus ou moins épais formé grâce à une plante de couverture cultivée à cet effet, semis dans un couvert végétal vivace, semis dans un paillage rapporté, etc. Suivant les systèmes pratiqués, les conséquences sur la fertilité, sur la production et sur le calendrier cultural ne sont pas les mêmes ; le choix d'un système plutôt qu'un autre dépend d'une situation écologique et sociale donnée et, du point de vue de l'exploitation, la construction des assolements, des rotations et des associations végétales est différente.

Principes des systèmes en semis direct

En répondant aux contraintes énoncées au tableau I, ces systèmes de semis direct ont pour base, d'une part, le maintien et l'amélioration de la fertilité des terres et, d'autre part, l'optimisation des ressources et de la gestion de l'exploitation.

Du point de vue de l'agronome généraliste, ils obéissent à des principes d'agroécologie, en particulier

- limiter le remaniement mécanique du sol à l'endroit où est déposée la semence et couvrir le sol en permanence avec de la matière végétale pour, d'une part, stopper totalement les processus d'érosion et réduire les amplitudes thermiques et hygrométriques et, d'autre part, reconstruire un écosystème stable, favorable à l'activité biologique et à la préservation de la matière organique du sol;

- faire travailler la nature, c'est-à-dire le système sol-biomasse, en tirant partie le plus possible ses propres ressources (photosynthèse, macro- et mésofaune, microflore, recyclage ou libération d'éléments minéraux lixiviés en profondeur ou bloqués) grâce à l'action de plantes de couverture annuelles ou vivaces installées en association, en succession ou en rotation avec les cultures principales.

Les systèmes culturaux ainsi construits se rapprochent d'un écosystème de forêt à l'équilibre : les pertes en nutriments sont les plus faibles possibles, réduits aux exportations de la matière végétale récoltée (grains...) et les apports d'intrants sont diminués en conséquence. Cela permet de tirer le meilleur parti, et à moindre frais, du système cultivé et de maintenir son potentiel de production.

Du point de vue de l'agriculteur, ce sont des innovations qui conduisent à de meilleurs modes de gestion de l'exploitation, en particulier

- opérations culturales réduites en nombre et en durée; - calendrier cultural souple;
- stabilité des productions et des marges.

Le semis direct n'est donc ni une technique simple ni un thème de recherche ou de vulgarisation, mais un système complet et intégré. Il engendre un système de culture particulier qui modifie complètement la gestion et l'organisation de l'exploitation agricole. Cette innovation, réunissant autant de facettes que de situations et de lieux d'adaptation, est complexe : elle engage l'agronomie dans sa globalité et la profession agricole dans la reformulation de son fonctionnement.

Conditions techniques de réalisation

Sur le plan pratique, la réalisation technique est commandée par l'absence de travail du sol et par la productivité rationnelle de biomasse. Des exemples de terrain permettent d'illustrer ces conditions.

Absence de travail du sol et production d'une biomasse utile

L'absence de travail du sol demande quelques ajustements techniques

- adaptation des outils et de la technique de semis à un sol recouvert d'une couverture végétale, plus ou moins épaisse - maîtrise des adventices avant semis, le plus souvent à l'aide d'herbicides à faible dose d'emploi;
- choix de plantes productrices de biomasse dont les systèmes racinaires doivent permettre de maintenir ou de créer une porosité favorable, rompant les structures massives.

La production d'une biomasse utile à la pérennité de l'agrosystème peut avoir plusieurs origines - résidus de la culture principale laissés sur le sol;

- émondage de haies d'agroforesterie, transfert d'herbes de la jachère;

- mulch d'espèces végétales semées chaque année avant ou après la culture principale, de telle sorte que le sol rit reste jamais nu;
- couverture vivante constituée par des espèces végétales vivaces installées une fois pour toute au démarrage cf. système et dont la croissance peut être maîtrisée par de faibles doses d'emploi d'herbicides appropriés;
- mulch ou couverture vivante, issus d'espèces végétales conduites en jachère plus ou moins courte intercalée avec une ou plusieurs années de culture.

La production de biomasse obéit aussi à des impératifs concrets, le principal étant qu'elle ne soit ni une source de travail supplémentaire ni un surcoût économique pour l'agriculteur. En plus d'améliorer la fertilité du sol et de réduire l'érosion, elle doit limiter la pression des adventices (diminution des temps de travaux) et améliorer le bilan fourrager de l'exploitation.

Ces conditions définies, nous nous proposons de les préciser sur les plans quantitatifs et qualitatifs à travers quelques exemples de systèmes au Brésil et en Côte d'Ivoire.

Exemple des fronts pionniers du Brésil : les cultures commerciales et les cultures de mulch sont intimement liées

En écologie forestière tropicale et humide de l'ouest brésilien, l'agriculture pionnière est destructrice des terres et très risquée économiquement : monoculture de soja, travail aux outils à disques engendrent l'érosion et la compaction des sols, un enherbement peu maîtrisable et de fortes infestations par les nématodes et les maladies cryptogamiques. Les solutions développées (SEGUY et al., 1996, 1998a, b, c) s'appuient sur la suppression des outils à disques, sur les rotations systématiques de successions à deux ou trois cultures annuelles ainsi que sur le semis direct dans une couverture végétale permanente du sol. L'un de ces systèmes consiste à produire de la biomasse issue d'un sorgho ou d'un mil en ouverture et/ou en succession du soja. Le soja est semé dans les pailles de la céréale d'ouverture, desséchée sur pied à l'herbicide total. Il est suivi par la céréale de succession implantée en semis direct en fin de saison des pluies, au fur et à mesure de la récolte du soja. La céréale assure la couverture du sol en saison sèche. Ces céréales, encadrant la culture principale ont ainsi un rôle de « pompe biologique », évitant que les nutriments se perdent en profondeur. Le riz pluvial, en rotation avec le soja, est associé à des légumineuses à forts enracinements pivotants-genres *Sesbania* et *Crotalaria*. La suppression du travail du sol permet d'étaler les semis de riz et de soja pendant 60 jours après les premières pluies, d'où une grande souplesse d'exécution et une capacité accrue des équipements. Pour l'agriculteur, l'intérêt des « cultures de mulch » réside dans leur capacité agronomique à maintenir les rendements des cultures principales à des niveaux élevés tout en réduisant l'apport d'intrants. Sur le plan économique, les coûts de production sont diminués d'au moins 20 %, la capacité des équipements mécanisés est multipliée par 1,5 à 1,8 et la marge nette de plus de 40 %. Du point de vue de l'agronome, celui-ci constate, sans forcément en expliquer les processus, la suppression de l'érosion, la création d'une structure jusqu'en profondeur, une activité intense de la faune du sol, une meilleure maîtrise des adventices et une chute des dégâts de nématodes.

Exemple de la Côte d'Ivoire: du mulch à la couverture végétale vivante

En zone centre de la Côte d'Ivoire, la culture itinérante est pratiquée-défriche-brûlis de la forêt puis une, voire deux, années d'igname. Les techniques de semis direct mises au point ont pour but, dans cette écologie instable, de fixer l'agriculture sur des espaces limités en épargnant la forêt (CHARPENTIER et al., à paraître). Il est possible d'alterner des phases de culture d'un an ou plus et des phases de *Pueraria phaseoloides* dont la durée n'est pas limitée (c'est une légumineuse vivace): igname sur défriche-maïs + *P. phaseoloides* en dérobée-*P. phaseoloides* un an ou plus- culture un an- *P. phaseoloides* un an ou plus. Pour sa première installation, il peut être semé à la volée dans le maïs sous lequel il se développe peu tant que l'ombrage est important. Il est laissé en place l'année suivante et les cultures sont à nouveau installées à la troisième année ; au moment des semis, *P. phaseoloides* forme un tapis épais de feuilles mortes et d'organes vivants qui se sont développés aux premières pluies. Deux gestions sont alors possible : le mulch ou la couverture vivante. En mulch, *P. phaseoloides* est totalement détruit par un traitement herbicide. Le semis en poquets a lieu quand le mulch s'est suffisamment tassé (15 à 20 t/ha de matière sèche). Quant à *P. phaseoloides*, il doit être ensuite ressemé à la volée sur son propre mulch. En couverture vivante, le développement de *P. phaseoloides* est contrôlé par des herbicides à dose d'emploi faible ; il couvre rapidement le sol après la récolte et le système se pérennise sans intervention. Les résultats sont intéressants en terme de diversification des cultures, de stabilité et de niveau de rendement, d'autant plus que le travail du sol et de défrichage n'a plus la même acuité : production multipliée par deux pour l'igname -dont la mise en place est très pénible et longue- et le maïs par rapport aux itinéraires traditionnels.

Conclusion : des systèmes qui imposent une gestion de la parcelle cultivée en fonction de son évolution

La description rapide de ces quelques systèmes en semis direct montre à la fois leur intérêt à court terme pour l'agriculteur et à long terme pour la préservation de la ressource sol (tableau II). D'un côté, il y a une économie de travail et une souplesse d'intervention, avec des résultats stables, et de l'autre, il y a la constatation que le sol maintient une certaine fertilité physico-chimique et biologique. D'un côté, l'exploitation agricole peut être fixée dans un espace limité sans l'obligation de défricher de nouvelles terres. De l'autre, les massifs forestiers sont épargnés et les espaces, naturels ou exploités, peuvent être gérés de façon conservatrice.

La réussite de la conduite de l'exploitation avec ces systèmes dépend de la technicité de l'agriculteur. La maîtrise de la couverture végétale implique le choix d'herbicides adéquats selon la culture en place, le type de plante de couverture, les conditions météorologiques et les adventices potentielles; c'est tout l'intérêt de disposer d'une gamme de matières actives de pré-levée et de post-levée et d'en connaître les prix. L'ajustement des dates de semis est fonction du déroulement de la saison des pluies (le début en particulier), de l'assolement préconisé, de la gamme de cycles disponibles (variétés), voire même de l'évolution des marchés. L'application d'engrais, même si elle diminue nettement par rapport à une agriculture classique, obéit à plusieurs facteurs : l'état et le type de sol, la pluviométrie, le profit attendu, l'état de la culture et surtout les conditions d'installation; l'agriculteur décidera de fractionner, de supprimer ou non certains apports (azote par exemple), de privilégier certaines parcelles ou variétés... Le choix des plantes de couverture, dans la mesure où la recherche offre un éventail d'espèces adaptées, constitue un élément supplémentaire de variation des systèmes en fonction de la fertilité physique (compaction, semelle) et chimique (sol sableux très pauvre), de la lutte ou suppression d'une adventice particulière, de la concurrence ou de la gêne pour la culture principale, de l'utilisation en jachère pâturée, etc.

Nous voyons par là que ce n'est pas une agriculture à message unique -fondé sur une exploitation, un sol, une production types ou sur des calendriers pré-établis. Il s'agit de construire, pour des conditions sociales et écologiques données, plusieurs gammes d'itinéraires que l'agriculteur va moduler, ajuster, choisir en fonction de la situation économique du moment, de la main-d'œuvre ou de l'équipement effectifs et des conditions climatiques d'installation de la campagne agricole.

Effets positifs attendus par l'agriculteur et l'agronome de terrain

Finalement, ces pratiques orientent, à l'avantage de la production agricole durable, les processus chimiques, physiques et énergétiques « gratuits » de la nature, qu'ils soient d'origine animale- microflore, macro- et mésofaune-, végétale -photosynthèse, production de biomasse, activité racinaire - ou climatique - création d'un microclimat. Cet écosystème cultivé fonctionne à l'équilibre en créant de la matière organique, en la minéralisant, en recyclant les éléments minéraux lixiviés ou bloqués, grâce à l'intervention permanente de la flore microbienne et de la faune du sol qui digèrent la biomasse au-dessus et au-dessous du sol.

Les effets attendus de ces systèmes sont dépendants des intervenants sur le terrain (tableaux I, IU. Ce qu'en attendent les agriculteurs a déjà été largement évoqué : diminution de la pénibilité du travail, souplesse du calendrier cultural, emploi minimal d'intrants, stabilité des rendements, marges nettes élevées, fixation des familles rurales sur un espace limité. Ce n'est pas l'obtention d'un rendement maximal sur une parcelle donnée qui lui importe mais, à très court terme, la réduction des temps de travaux et de leur pénibilité.

Les agronomes, quant à eux, constatent les résultats obtenus sur le terrain. En milieu tropical, l'obtention d'une production moyenne et régulière dans le temps n'est possible qu'à deux conditions : le sol en culture exerce un effet régulateur par rapport au climat, la fertilité physico-chimique et biologique est maintenue. De nombreux facteurs agronomiques entrent en jeu : le bilan minéral, l'état du profil cultural, le microclimat, l'activité biologique, le bilan organique, la flore adventice, les maladies et ravageurs.

Le bilan minéral fait intervenir une série de processus

- fixation de l'azote atmosphérique (légumineuse de couverture);

- limitation de la lixiviation et recyclage des éléments minéraux par des systèmes racinaires complémentaires (profondeur, biomasse);

- déblocage d'éléments rétrogradés, comme le phosphore, par les sesquioxydes de fer et d'aluminium;

-accroissement de l'extraction et de la mobilisation des bases (Ca, K, Mg) et des oligo-éléments du complexe argilo-humique, grâce aux exsudats racinaires;

- élimination de l'effet toxique de l'aluminium par complexation avec les acides organiques et l'azote nitrique de décomposition lente de certaines litières.

L'état du profil cultural est relatif à la création d'une structure stable et d'une macroporosité forte, grâce à la colonisation profonde du sol par des systèmes racinaires puissants, augmentant ainsi les réserves en eau et en éléments nutritifs accessibles aux plantes.

La surface du sol, sans labour ni reprise, couverte par un mulch, est protégée contre les phénomènes d'érosion hydrique et éolienne, qui conduisent non seulement à des pertes mécaniques en terre mais aussi à des pertes différentielles d'éléments fins (matière organique, éléments nutritifs). Le degré de protection et sa durée dépendent de la qualité du mulch -épaisseur, densité, permanence en saison sèche (rapport GN)...

La création d'un microclimat régulateur est l'effet spécifique de la couverture végétale permanente du sol : elle diminue l'évaporation et les amplitudes de température et d'hygrométrie du sol, elle permet d'améliorer le bilan hydrique et de réduire globalement les effets des aléas climatiques.

La réactivation de la vie biologique est liée à la fois à la présence du mulch et au non travail du sol : on observe une macrofaune - insectes, vers, larves... - très dense. Du fait de la décomposition lente et permanente des couches inférieures du mulch, la vie microbiologique est intense également.

Les plantes de couverture limitent les attaques de certains ravageurs et maladies (nématode, *Pseudomonas*...) et jouent un rôle important dans la maîtrise des mauvaises herbes par l'ombrage, l'humidité, l'allélopathie. Elles sélectionnent en quelque sorte les adventices ; la lutte contre celles que la couverture vivante laisse passer peut revêtir plusieurs aspects : utilisation d'herbicides plus spécifiques, introduction périodique d'autres plantes de couverture.

Nouveau milieu cultivé, autres obstacles techniques

A partir du moment où nous créons un nouveau milieu, des problèmes nouveaux apparaissent, pour lesquels des solutions techniques existent déjà, alors que d'autres seront à découvrir au fur et à mesure que nous aurons du recul sur ces systèmes.

La forte concentration de matières organiques et le microclimat - forte humidité, température douce, faibles amplitudes - constituent un environnement favorable aux maladies cryptogamiques et à certains insectes ravageurs, en particulier au moment de la levée des cultures. Leur développement est fonction du type de mulch (teneur en cellulose et lignine), des dates de semis (semis tardifs, en pleine saison des pluies) et du mode de semis (poquet dégagé manuellement et écartant le mulch sur 15 cm de diamètre). Des techniques d'enrobage et de traitement des semences sont expérimentées et certaines peuvent être pratiquées par les agriculteurs.

L'utilisation des herbicides, pour brûler la plante de couverture ou pour ralentir sa croissance, implique de choisir judicieusement les matières actives et leurs doses d'emploi pour ne pas grever le développement de la culture. Il en est de même pour la lutte contre les mauvaises herbes, surtout avant le semis de la culture et au début de son cycle

il faut à la fois des matières actives efficaces et compatibles avec la culture et la plante de couverture si celle-ci est vivante. Des techniques sont encore à mettre au point et à adapter en fonction du milieu écologique : combinaison de matières actives, utilisation de plantes de couverture selon des itinéraires spécifiques, par exemple des observations montrent que *Mucuna pruriens*, installé une année en jachère dans laquelle est semée ensuite la culture, permet de lutter contre *Rottboelia exaltata* (d'après CHARPENTIER, comm. pers.).

Dans les régions à longue saison sèche, comme le nord de la Côte d'Ivoire, les systèmes en semis direct sur mulch de résidus de culture n'ont pas l'efficacité que procure, dans la même écologie, une plante de couverture comme *Pueraria phaseoloides*. Les résidus de culture sont éparés et ne couvrent pas le sol; le sol, non travaillé par les outils ou par un système racinaire restructurant, est dur et constitue, en cas de stress hydrique, un obstacle à la levée de certaines cultures (arachide, riz pluvial). En revanche, d'autres plantes s'en accommodent très bien, comme le maïs ou le soja.

Pour l'agriculteur, l'intérêt principal est la réduction du temps de travail, la souplesse et la rapidité d'exécution des opérations culturales : cela revient à la suppression du labour. Les observations semblent montrer que, dans ce cas précis l'agriculteur aurait intérêt à programmer un travail du sol périodique (une fois dans la rotation par exemple) avec des outils à dents pour aérer la structure et recréer une macroporosité. Il y a donc là matière à expérimentation pour améliorer les systèmes en semis direct dans des régions sèches.

La permanence du mulch peut être complètement remise en cause dans les régions où le bétail est en vaine pâture de façon plus ou moins libre. D'un côté, ces systèmes sont une voie intéressante vers l'association de l'agriculture à l'élevage. D'un autre, cela demande une gestion et une organisation concertée du terroir entre les éleveurs, les agriculteurs, les notables et les politiques.

Dans chaque milieu écologique, les plantes de couverture doivent être testées pour aboutir à une gamme utilisable.

Que ce soit en agriculture manuelle, en traction animale ou en motorisation conventionnelle, la conception et la réalisation d'outils adaptés-en particulier pour les semis et les récoltes-sont des thèmes de recherche importants.

En conclusion, l'objectif du semis direct peut être plus ou moins élaboré, du simple paillage à des plantes vivaces couvrant en permanence le sol. Pour sa diffusion en milieu agricole et son application en terme agronomique, technique et économique, cela demande des conditions préalables plus ou moins exigeantes selon le degré de technicité visé, la fertilité initiale des sols et le niveau d'intensification de l'exploitation agricole.

L'ouverture aux recherches thématiques

L'énoncé des effets positifs et des obstacles techniques ouvre sur une multitude de sujets de recherche pointue. Les pratiques de semis direct dans une couverture végétale permanente du sol doivent être évaluées - quantification et explication des processus - dans tous les domaines qui touchent au système de culture : défense des cultures, phytopathologie, nématologie, entomologie, malherbologie, lutte intégrée; nutrition minérale et hydrique, en terme d'évolution du sol -décapage, teneur en matière organique, activité biologique, porosité, structure, réserves minérales, acidité...

Ces systèmes impliquent une utilisation avertie des herbicides, pour laquelle des travaux se révéleront d'autant plus nécessaires que les situations d'application seront variées : choix de matières actives seules ou en combinaison, en pré- et post-levée, qui associent les effets sur certaines adventices et la maîtrise de la croissance du couvert. Sur un plan plus fondamental, n'y aurait-il pas à découvrir de nouvelles molécules adaptées à des systèmes dont la base est l'association de types de plante différents ou, au contraire, similaires?

La recherche thématique a encore le champ totalement ouvert quant aux effets de compétition des plantes de couverture - observés visuellement sur le terrain - par rapport à des cultures, à des adventices, et inversement : on parle d'allélopathie, d'effets mécaniques, climatiques... Ainsi, après *Calopogonium mucunoides*, comme après *Cassia rotundifolia*, la culture du cotonnier subit des accidents de levée (retard, manquants) et des baisses de rendement. Ces espèces agissent-elles par la décomposition de leur mulch, par des substances exudées par les racines? Notons aussi que les graines de *C. mucunoides* n'arrivent pas à germer dans son propre mulch. Des effets sont observés contre *Striga hermonthica* (mulchs de *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium mucunoides*, *Cassia rotundifolia*) pour lesquels les hypothèses explicatives sont variées : germination limitée par le microclimat de la couverture végétale (baisse de température), apport d'azote des légumineuses défavorable à son développement, germination favorisée par certaines légumineuses sans fixation sur les racines des cultures... Citons aussi *Cyperus rotundus* qui est bien contrôlé par des mulchs épais, probablement à cause du microclimat (obscurité) alors que des observations faites en laboratoire ne soulignent pas cet effet (DE RAISSAC et al., 1998). Cet exemple amène deux questions

- quels protocoles sont valides pour étudier ces phénomènes en conditions contrôlées?
- n'y a-t-il pas des seuils relatifs aux caractéristiques des mulchs (épaisseur, stade d'évolution du mulch, teneurs en certains composants chimiques, évolution de ces composants...) qui induisent ou non les dits effets?

La recherche thématique a aussi beaucoup à apporter pour approfondir les connaissances sur la physiologie d'espèces végétales qui pourraient être utilisées comme plantes de couverture et sur leur capacité d'adaptation dans un milieu cultivé; de nombreux travaux ont déjà été menés.

Sur le plan socio-économique, dans le souci d'une vulgarisation efficace il est important d'évaluer ces techniques par rapport aux composantes des systèmes de production : pénibilité du travail, diversification des productions, bilan fourrager, marges nettes, capitalisation et investissement... C'est toute la question de la gestion de l'exploitation agricole. Les conditions d'adoption de systèmes nouveaux dans un lieu donné et de transfert d'un lieu à un autre seront ainsi renseignées selon les situations agraires.

Recherche, expérimentation et développement: quelle démarche?

Cette agronomie est systémique. Elle implique des agronomes généralistes de terrain qui vont gérer ces activités de création et diffusion en collaboration avec les professionnels agricoles - agriculteur, société de développement, autorités locales, service de vulgarisation, fournisseur d'intrant ou d'équipement... Elle demande aussi la contribution des chercheurs spécialisés : les recherches thématiques sur la connaissance des processus, leurs interactions, l'explication de la reproductibilité des solutions intéressantes interviennent en accompagnement à partir de dispositifs in situ et sous la conduite des agronomes responsables du projet.

Cette agronomie est menée avec les agriculteurs, c'est-à-dire sur leur terroir et dans leurs exploitations, avec leurs outils - c'est ce qu'on appelle des conditions réelles

- contractualisation entre les responsables du projet et les agriculteurs pour la répartition des tâches, l'évaluation des résultats, l'indemnisation en cas de mauvais résultat, etc.;
- collaboration technique avec les agriculteurs, qui conduisent les travaux et évaluent les systèmes;
- dispositif conçu comme un support de formation aussi bien pour les agriculteurs que pour les chercheurs, les étudiants ou les bailleurs de fonds;
- taille de parcelles correspondant à la réalité du travail agricole, afin de mesurer les temps de travaux, les marges, etc., des nouveaux systèmes;
- parcelles réservées aux essais thématiques classiques (petites parcelles, répétitions...), où sont testés différents niveaux d'une technique donnée, des solutions à des problèmes apparaissant dans les nouveaux systèmes, avant de choisir, avec les partenaires, ce qui peut passer en grande parcelle;
- dispositif conçu en assolement et rotation sur plusieurs années.

Cette démarche de projet demande une agronomie opérationnelle dont les résultats soulignent d'ailleurs la spécificité du champ tropical : elle est à travailler en tant que telle sans se référer forcément aux acquis de l'agronomie

classique appliquée dans les régions tempérées. Il y a des thèmes différents à travailler, à cause des spécificités des milieux tropicaux - activité de la faune, fragilité des sols, type de sol, minéralisation rapide de la matière organique, forte capacité photosynthétique, etc. Dans ce contexte, nous

pensons que l'approche écorégionale est valide : **1** la connaissance approfondie des processus et les principales contraintes peuvent être appréhendées dans un premier temps à l'échelle régionale, avant les adaptations locales.

Cette recherche-développement s'appuie sur une agronomie technique sanctionnée directement par les agriculteurs. Sa démarche est fondée sur l'action et la participation. Ce n'est ni une recherche agronomique de station ni une recherche orientée sur les typologies socio-économiques et sur les propositions organisationnelles relatives au milieu rural (composantes importantes mais non suffisantes d'un projet). La recherche sur les systèmes en semis direct se situe sur le plan de la proposition technique, c'est-à-dire de l'innovation agronomique, à partir de laquelle l'organisation sociale, au moins à l'échelle du terroir, pourra évoluer.

Les expériences menées sur le terrain tendent à montrer qu'on peut créer une innovation sans connaître à fond l'organisation du milieu humain et les processus agronomiques mis en jeu dans la dynamique eau-sol-plante-climat. Il faut un diagnostic très concret, qui mette à jour les facteurs limitants, pas forcément perçus en tant que tels par les acteurs. La question est : quelles sont les limites de connaissance des processus et de l'organisation humaine nécessaires et suffisantes pour construire des innovations? Il faut trouver les indicateurs globaux et les facteurs limitants pertinents.

Conclusion : une autre façon de voir l'agronomie

Nous avons pointé quelques exemples concrets, quelques thèmes, quelques questions. C'est sans doute modeste par rapport à la réalité du monde tropical, mais c'est assez pour rendre compte de l'intérêt multiple que nous offrent les pratiques de semis direct dans des couverts végétaux vivants ou morts. Le premier intérêt est qu'elles apportent aux agriculteurs une certaine stabilité des productions et une diminution des temps de travaux. Le deuxième intérêt est qu'elles préservent les ressources naturelles. Le troisième est qu'elles constituent des systèmes complexes où l'homme et la nature interviennent de façon complémentaire : c'est à ce titre qu'elles constituent une voie à de nouvelles recherches fondamentales et appliquées.

Références bibliographiques

CHARPENTIER H., DOUMBIA S., ZOUMANA C., ZANA O. à paraître. Fixation de l'agriculture au nord et au centre de la Côte d'Ivoire : quelles bases agronomiques ? Agriculture et développement, accepté pour publication, 1999.

DE RAISSAC M., MARNOTTE P., ALPHONSE S., 1998. Interactions entre plantes de couverture, mauvaises herbes et cultures . quelle est l'importance de l'allélopathie? Agriculture et développement 17 : 40-50.

FELBER R., RAJOHARISON J., 1995. Gestion des sols et cultures avec des couvertures végétales permanentes. Première expérience du centre FAFIALA. FAFIALA, Madagascar, collection rapport et note de parcours n° 16, 65 p.

MICHELLON R., 1996. Modes de gestion écologiques des sols et systèmes de culture à base de géranium dans les hauts de l'ouest de la Réunion. CIRAD-CA programme APAFP n° 47-96. CIRAD-CA, Montpellier, France, 103 p.

ROLLIN D., 1997. Quelles améliorations pour les systèmes de culture du sud-ouest malgache ? Agriculture et développement 16 57-72.

SEGUY L., 1996. Gestion agrobiologique des sols. Les techniques de semis direct sur couvertures mortes et vivantes : cheminements de recherche-action dans quelques grandes écologies de Madagascar : pour, avec et chez les agriculteurs, dans leurs unités de production. CIRAD-CA, Montpellier, France, 37 p.

SEGUY L., 1997. Rapport de mission à Madagascar. Systèmes de culture durables avec semis direct, protecteurs de l'environnement, dans les régions du sud-ouest, les hauts plateaux et le moyen ouest de Madagascar, en petit paysannat. CIRAD-CA, Montpellier, France, 108 p.

SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., CORTES N. A., 1996. L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. I- La méthode de création-diffusion agricole. II- La gestion de la fertilité par le système de culture. III- Le semis direct, un mode de gestion agrobiologique des sols. Agriculture et développement 12 : 2-61

SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., CORTES N. A., 1998a. Brazilian frontier agriculture. I. The agricultural innovation-extension method. II. Managing soil fertility with cropping systems III. Direct seeding, an organic soil management technique. Agriculture et développement, Special issue, p 2-61.

SEGUY L., BOUZINAC S., MAEDA E., MAEDA N., 1998b. Large scale mechanised direct drilling of cotton in Brazil. Semis direct du cotonnier en grande culture motorisée au Brésil. Perforación directa mecanizada en gran escala para el cultivo del algodón en Brazil. The ICAC Recorder 16 (1) : 11-17, 29-36, 48-54.

SEGUY L., BOUZINAC S., MAEDA E., MAEDA N., 1998c. Brésil : semis direct du cotonnier en grande culture motorisée. Agriculture et développement 17 : 3-23.

THURSTON H. D., SMITH M., ABAWI G., KEARL S. (Eds), 1994. Tapado : slash/mulch, how farmers use it and what researchers know about it. Workshop, October 12-16, 1992, San José, Costa Rica. CIIFAD, Ithaca, New York, Etats-Unis, 302 p.

TRIOMPHE B. L., 1996. Seasonal nitrogen dynamics and long term changes in soil properties under the mucuna/maïs cropping system on the hillsides of northern Honduras. Thèse de doctorat, Cornell University, Ithaca, New-York, Etats-Unis, 217 p.

Tableau I. Les contraintes générales de l'agriculture tropicale: elles s'appliquent à des degrés différents selon le type de milieu naturel, le type d'exploitation et selon l'organisation sociale.

Contrainte	Sol : une fertilité fragile	conditions aléatoires	Technique: mal adaptée ou mal maîtrisée	Travail : valorisation difficile	Economie : du court terme sans lendemain
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation physique: battance, perte de structure, compaction, prise en masse • Décapage mécanique: du sol érosion hydrique par ruissellement et érosion éolienne par vent, sur sol nu • Dégradation chimique: perte des éléments minéraux nutritifs par lixiviation, acidification, toxicité aluminique • Minéralisation rapide de la matière organique 	<ul style="list-style-type: none"> • Répartition erratique des précipitations • Fortes intensités des pluies • Excès momentanés d'eau • Fortes évaporations 	<ul style="list-style-type: none"> • Envahissement par les adventices • Equipement et travail du sol, souvent inadaptés • Maladies et ravageurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible productivité • Temps de travaux très élevés, surtout pour la mise en place des cultures <p>du climat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calendrier des opérations culturales très dépendant du type de culture et (pluies) • Pénibilité de certains travaux (défriche, sarclage, butte) 	<ul style="list-style-type: none"> • Filières peu organisées, circuits économiques souvent inexistant • Peu d'intrants disponibles qui doit être rapide et pour les sarclages (équipement, produits d'importation) • Dépendance à l'égard des marchés • Absence de trésorerie et de crédit • Tenure foncière

Tableau II. Principaux effets attendus des systèmes en semis direct sous couverture végétale permanente sociale.

Bilan minéral	Propriété physique	Microclimat	Activité biologique	Bilan organique	Flore adventice	Lutte intégrée	Gestion de l'exploitation
<ul style="list-style-type: none"> • Fixation de l'azote • Recyclage des éléments minéraux • Déblocage des éléments rétrogradés • Elimination de l'effet toxique de l'aluminium 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte macroporosité et aération • Structure stable • Sol arable plus épais • Augmentation de l'infiltration 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques climatiques régulés (amplitudes thermiques, hygrométriques) • Conservation de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation, diversification mésofaune et microflore • Actions chimiques et physiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Accroissement taux de matière organique • Incorporation en profondeur • Actions des matières organiques hydrosolubles 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution significative (allélopathie, obscurité) 	<ul style="list-style-type: none"> • Maladies • Ravageurs • Economie d'intrants 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution et flexibilité • Moindre pénibilité • Economie d'intrant • Diversification • Bilan fourrager amélioré • Stabilité de la production • Augmentation des marges nettes