

Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest

Georges Serpantié*, Badiori Ouattara**

«Terres pauvres mais généreuses», voici comment qualifier, sur le mode poétique, les milieux cultivés tropicaux d'Afrique de l'Ouest (Piéri, 1989). Une vie biologique explosive mais aussi une grande fragilité et une usure rapide des sols font que la loi du « tout ou rien » s'applique ici sans nuance : végétation exubérante ou clairsemée. La jachère tropicale représente ainsi l'état post-cultural, phase passive de restauration d'un écosystème, dont l'état final procure en principe des conditions renouvelées pour la culture suivante, en particulier un milieu assaini et des éléments nutritifs plus abondants, plus disponibles et plus accessibles aux racines. Ce serait cependant une erreur de faire de la jachère obligatoirement « un moyen économe de restaurer la fertilité » ; elle peut remplir divers rôles, dont celui-ci, mais tout dépend du milieu, des caractères du système culture-jachère et de ce qu'en attendent l'exploitant agricole et les systèmes de culture qu'il pratique (Sébillotte, 1985). Or les contextes agricoles et systèmes culturels présentant des friches et jachères sont aujourd'hui d'une grande diversité. Même dans le contexte ancien, les systèmes agraires de type villageois des savanes de l'Afrique de l'Ouest contenaient plusieurs composantes, d'importance relative variable (Pelissier, 1966) :

- un troupeau sédentaire ou transhumant, était parqué près du village ;
- une auréole de champs permanents fumés et (ou) à jachères très courtes cernait le village ;
- enfin un système de culture itinérante existait à la périphérie du terroir.

Les rôles nettoyants et améliorants sont prépondérants pour les jachères longues suivant les champs itinérants, ou très secondaires dans le cas des jachères courtes (Bonetti & Jouve, 1999).

Plus généralement, les connaissances sur les rôles des jachères doivent être actualisées dans le contexte actuel de diversité de l'agriculture tropicale et de nouveaux enjeux. Devant la saturation croissante de certains terroirs et l'inadaptation des systèmes de production au raccourcissement et à la raréfaction des jachères – en particulier l'insuffisance des investissements en fumure organique ou minérale –, on évoque une chute rapide de la *fertilité des terres*, qui entraînerait la baisse des rendements et de la rentabilité (Ruthenberg, 1980 ; Piéri, 1989 ; Van der Pol, 1992 ; Sholes *et al.*, 1994 ; Taonda *et al.*, 1995 ; Rockström, 1997) ; on prédit même l'abandon de certaines cultures comme celle du cotonnier dans certains bassins de production (Borderon, 1990).

* Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), 213, rue Lafayette, 75480 Paris cedex 10 (France).

** Institut de l'environnement et des recherches agricoles, B.P. 7192, Ouagadougou (Burkina Faso).

Les différentes équipes du programme *Jachère* ont donc exploré les processus de changement d'états physiques, biologiques, chimiques, phytosanitaires qui affectent le milieu cultivé au cours de l'alternance culture-jachère, ainsi que les conséquences culturelles et les effets à long terme. À l'échelon du terroir et à celui du versant, les chercheurs ont aussi mis en évidence des processus de transfert d'éléments fertilisants par le vent, par l'eau de ruissellement, par le bétail ou par les exploitants. Pour compenser la tendance au raccourcissement des jachères et à l'allongement des cultures, et accroître l'efficacité des intrants nécessaires aux productions recherchées ils ont tenté diverses manipulations sur le cycle culture-jachère ou sur le paysage pour optimiser la réhabilitation des paramètres et des fonctions de la fertilité.

Avant d'aborder les résultats de ces travaux sur les processus de changement d'état du cycle culture-jachère et différents cas de cycles culture-jachère (II^e et III^e parties), il convient de revenir aux définitions possibles et aux manières d'évaluer la fertilité les mieux adaptées aux systèmes de culture actuels (I^e partie); celles-ci ont particulièrement évolué, depuis les savoirs paysans, les indicateurs des sciences du sol des années soixante, les besoins spécifiques des systèmes de culture mécanisés apparus vers 1970, l'indicateur « matière organique », jusqu'aux conceptions actuelles, venues de l'écologie, qui concernent les « fonctions de fertilité » abordées selon une vision systémique et qui donnent une plus large place à la biologie des sols.

Première partie : **les indicateurs de la fertilité**

Qu'est-ce que la fertilité ?

La fertilité est perçue de manière très variée : un don du Ciel, un patrimoine, une qualité de l'environnement à *ppoolr*, voire à protéger par la Loi, une valeur à construire ou un simple ensemble de potentialités ; ce terme appartient plus au domaine des représentations sociales qu'à celui des concepts scientifiques ; le choix préalable d'un point de vue scientifique et la recherche d'une acception aussi précise que possible s'imposent pour une utilisation rigoureuse.

Point de vue économique

Un milieu est reconnu *fertile* par une société rurale s'il permet de satisfaire durablement ses objectifs économiques ; cette notion serait donc à ranger au nombre des « contraintes et atouts » d'un environnement (et particulièrement du sol) envers un système de production prédéfini, et vis-à-vis de certaines catégories d'acteurs économiques seulement : productions vivrières pour les sociétés paysannes, croît du troupeau pour les sociétés d'éleveurs, rente du propriétaire foncier, revenu du producteur et profit pour la filière de valorisation de ses produits ; c'est la capacité d'un milieu à favoriser durablement, et à des coûts aussi limités que possible, une production utile particulière. A la relativité de cette notion vis-à-vis de l'activité en jeu, il faut ajouter sa relativité vis-à-vis des techniques palliatives et aménagements améliorants disponibles et de leur rentabilité, variables en temps comme en espace : il est des contextes très artificialisés ou artificialisables à volonté où la question de la fertilité du milieu est sans objet, ou bien revient à la question de l'adaptation du système technique aux objectifs de production.

Point de vue écologique

L'écologie n'est pas familière de ce terme à forte résonance anthropocentrique ; certains écologues l'acceptent cependant mais intègrent les besoins de l'ensemble des organismes vivants aux besoins sociaux (Gobat *et al.*, 1998). Dans ces conditions, la fertilité équivaudrait au potentiel de production d'un écosystème, en impliquant l'ensemble des êtres vivants, le sol minéral et le climat. La production primaire, source d'énergie de l'écosystème, pourrait en être un révélateur ; celle-ci est limitée tant par le climat et les conditions édaphiques que par l'efficacité des systèmes sols-végétaux et donc par le degré d'adaptation des espèces qui les constituent et par leurs synergies. Comparés aux agro-écosystèmes conventionnels qui dépendent particulièrement de transferts de fertilisants, les écosystèmes spontanés présentent généralement une bonne efficacité des ressources minérales internes ; ils possèdent aussi des fonctions efficaces de protection ou d'auto-restauration vis-à-vis des agressions climatiques ou biologiques, qui en font des systèmes à la fois productifs, résilients et durables. La fertilité d'un écosystème, cultivé ou naturel, n'est donc pas réductible aux seuls caractères abiotiques du terrain et du climat. Elle est aussi largement dépendante de l'organisation biologique de ce milieu et de son fonctionnement, qui pilote les propriétés physiques du sol et l'alimentation des plantes (Chotte *et al.*, 1995). Conditions et facteurs de croissance liés au climat et aux sols peuvent représenter une composante « statique » et « externe » de la fertilité. L'efficacité propre de l'écosystème et l'adaptation des espèces constituantes aux composantes statiques et leurs synergies représenteraient une composante « dynamique » et « interne » de fertilité.

Point de vue agronomique

La réflexion agronomique sur les systèmes de culture tente une synthèse des deux points de vue précédents ciblés sur la production végétale valorisée. Boiffin & Sébillotte (1982) définissent la fertilité ou « *aptitude culturale d'un milieu* » :

« [...] *relativement aux fonctions que le milieu doit remplir dans le processus producteur. Les composantes de la fertilité sont les caractéristiques du milieu qui correspondent à ces fonctions. On les classe en deux groupes qui se manifestent à travers deux révélateurs : les rendements, les coûts et conditions d'application des techniques* ».

Notons bien que le « milieu » évoqué ici dépasse le sol et peut être défini comme un terrain dans son contexte pédologique, topographique, climatique et biologique, mais aussi porteur d'une histoire technique et écologique.

Certains auteurs décomposent l'aptitude culturale selon une composante naturelle ou propre, « pédo-climatique » et une composante acquise par les aménagements censés optimiser l'accès de la racine aux facteurs de croissance liés à la première composante. Morel (1989) suggère ainsi d'intégrer l'itinéraire technique cultural, dont la fertilisation, à la fertilité. On atteindrait ainsi une *potentialité culturale*, lorsque les techniques appliquées sont optimales.

Mais l'utilité du concept de fertilité pour l'agronome est surtout d'étudier l'évolution d'un milieu ou de comparer différents milieux dans le contexte d'un système de culture, donc en conditions techniques invariables et données au départ, non optimales. Ainsi, un tel concept « *n'a de sens que face à une gamme donnée de systèmes de culture*. » (Sébillotte, 1993)

Inversement, la fertilité mesurera aussi le degré d'adaptation d'un système de culture : si un milieu est jugé infertile dans le cadre d'un système de culture, c'est que ce dernier n'est pas adapté.

Un nouvel enjeu : la durabilité

Les risques de dégradation des terres et de l'environnement associés aux techniques intensives, mais aussi à certaines pratiques paysannes rendues extensives par manque d'accès aux facteurs de production, ont rendu nécessaire la recherche d'une *durabilité* des systèmes de culture. Cette notion concerne d'abord les conditions de reproduction du système, comme la stabilité des rendements et la viabilité économique, déjà prises en compte dans l'idée d'*aptitude culturelle*. Elle s'attache aussi à minimiser les impacts sur l'environnement et les ressources, localement (échelon de la parcelle, du paysage, de la région) ou mondialement (Sholes *et al.*, 1994). Le paysan ne peut plus être considéré comme l'unique gestionnaire de son milieu ; dès lors, une définition agronomique renouvelée du concept de fertilité combinerait les concepts d'*aptitude culturelle* et de *durabilité*. La notion de *fertilité du milieu producteur* dépasse désormais la notion d'*aptitude culturelle* et contient l'idée de capacité à conserver certaines fonctions et caractéristiques d'origine du milieu.

Discussion

Au type de production près (*valorisable* pour les agronomes, *totale* pour l'écologie), agronomie et écologie s'accordent en fait sur la notion de fertilité. Un révélateur de la fertilité étant la production dans les deux disciplines : propriétés abiotiques du milieu et efficacité du système biologique sont dans les deux cas prises en compte. En agronomie, le fonctionnement de l'écosystème cultivé est pris en compte dans le « processus d'élaboration du rendement », qui étudie les changements d'état du système complet composé du sol, du peuplement cultivé et des organismes adventices ou auxiliaires, soumis aux pratiques culturales et au climat. Les processus internes (symbioses, compétitions, minéralisations, agrégations, érosions, restitutions, pertes...) sont introduits dans l'analyse au même titre que les actions techniques, et peuvent même en faire partie (inoculations, associations...).

L'économie ou l'écologie des sols sont particulièrement concernées par le sujet de la production biologique, de ses coûts et de sa durabilité mais peuvent être gênées par la relativité particulière de la notion de fertilité à un contexte technique donné, qui en fait au contraire un concept plus particulièrement utile à l'agronomie.

La notion d'indicateur

Définir la fertilité serait incomplet sans en préciser les méthodes d'évaluation ; celles-ci varient en fonction du point de vue et de l'évolution de sa « définition » mais aussi des enjeux de sa prise en compte.

La fertilité d'un milieu peut être mesurée directement par les résultats des systèmes étudiés (rendements *etc.*) ; elle peut être reliée à des caractéristiques d'état ou à des fonctions du milieu, mesurables soient directement (paramètres descriptifs, analytiques), soit indirectement par des caractères simples ou composés qui servent d'*indicateurs* ; leur fonction principale est de renseigner sur l'état et le fonctionnement d'un système, par comparaison à des valeurs repères (Pontanier & Roussel, 1998). Serpantié & Kissou (1995) et d'Herbes *et al.* (1997) considèrent deux groupes de qualités à rechercher pour un indicateur : la pertinence-fiabilité (réaction sensible et fidèle), et l'utilité-opérationnalité (simplicité de mise en œuvre, coût d'accès bas). Choisir parmi des indicateurs nombreux et évolutifs nécessite une approche comparative et historique. Nous nous en tiendrons ici au cas des milieux cultivés ouest-africains et particulièrement des savanes.

Indicateurs « paysans » ou « traditionnels »

Les paysans se réfèrent à une classification vernaculaire des sols et en connaissent empiriquement le comportement moyen. Pour agir, ils se basent ainsi sur la durée moyenne de

culture possible par type de sol et par système de culture pratiqué (Souli & Serpantié, 1996), ainsi que sur des indices biologiques et symptômes pédologiques avant-coureurs d'une dégradation de productivité ou de maturité de la jachère (Yoni, 1995; Donfack, 1998; Somé *et al.*, 1998; Soumana, 2000). L'approche phyto-écologique permet, dans les situations les moins anthropisées, de vérifier la pertinence de ces plantes témoins, vis-à-vis des stades clés de dégradation culturale et de reconstitutions post-culturelles (Donfack, 1998); c'est parce que ces critères sont enracinés que les anciens conçoivent la détérioration de leurs terres et paysages avec autant d'angoisse, malgré l'absence de baisse de productions autorisée par de nouveaux moyens (Vierstra, 1994); l'usage de ces indices prend toute son importance pour les paysans sans moyens, surtout ceux qui sont confinés dans un système vivrier d'autoconsommation; peut-on prendre en compte utilement et valoriser ces savoirs locaux, se demande Soumana (2000)? La question mérite d'être posée devant le caractère non seulement très relatif mais encore souvent obsolète de ces indicateurs, lorsque l'anthropisation augmente; ainsi, la biomasse végétale représente un bon indicateur de maturité de la jachère seulement en l'absence de prélèvements importants de bois. *A. gayanus*, une graminée pérenne est considérée par les paysans soudanais comme un bon marqueur de jachère d'âge intermédiaire et de fertilité retrouvée (Somé *et al.*, 1998). Aujourd'hui, sa présence ou son absence dépendent moins de l'âge de la jachère que des modalités de son pâturage et de l'état du milieu en début de jachère (Fournier & Nignan, 1997; Djimadoum & Serpantié, 2000).

Indicateurs de l'écologie : la production primaire

La production primaire, facteur limitant de la production totale de l'écosystème, peut servir à mesurer la fertilité dans les écosystèmes peu anthropisés. Lorsqu'aucune autre condition de croissance n'est limitante, c'est le climat (teneur de l'air en gaz carbonique, durée de la saison de croissance et paramètres thermo-radiatifs) qui commande la productivité d'un couvert végétal; ainsi, un modèle de production (Wofost de l'U. Wageningen) simulé pour le climat soudanien de Bobo-Dioulasso (pluie annuelle moyenne : 900 mm pendant la période sèche de 1970 à 1990) calcule une production potentielle épigée de trente tonnes de matière sèche par hectare et par an, pour des peuplements de plantes à métabolisme « en C4 », bien adaptées à ce climat. Ce potentiel a été localement vérifié par une production de vingt-huit tonnes de matière sèche par hectare, observée en 1995 à Bondoukuy sur un peuplement semé de *Andropogon gayanus* de deux ans, sur un sol limono-sableux fertilisé antérieurement (Serpantié *et al.*, 1999).

La phytomasse maximale des savanes, qui permet d'approcher la productivité primaire nette épigée, en la sous-estimant cependant de vingt pour cent en moyenne (Fournier, 1994), est comparativement faible. Les peuplements de *A. gayanus* produisent une phytomasse maximale de trois tonnes de matière sèche par hectare environ, en sol ferrallitiques sableux (Serpantié *et al.*, 1999), quatre tonnes de matière sèche par hectare et par an en sols ferrugineux sableux (Fournier, 1994) et dix tonnes de matière sèche par hectare et par an en sols ferrugineux limono-sableux hydromorphes (Serpantié *et al.*, 1999). Les conditions nutritives et hydriques, ainsi que les caractères de peuplement (densités...), sont donc fortement limitantes mais variables suivant les milieux; en revanche, ces productions médiocres eu égard au potentiel climatique sont systématiquement supérieures aux productions de peuplements de graminées annuelles, mais aussi durables malgré les feux annuels et des prélèvements non négligeables. Abaddie *et al.* (1992) ont montré que les savanes à graminées pérennes sont peu dépendantes de la matière organique du sol pour leur nutrition azotée, grâce à des fonctions de fixation (mycorhizes et symbioses rhizobium-légumineuses, fixations non symbiotiques), d'organisation (concentration des ressources sur un petit volume) et d'économie (accumulation dans certains organes, recyclages efficaces...).

D'autres études sur la production primaire des milieux tropicaux, savanes et forêts, montrent aussi que, à travers le stockage de sels minéraux dans la biomasse vivante et les racines et le recyclage permanent par la faune et la flore, ces écosystèmes sont particulièrement conservateurs d'un point de vue minéral (Abaddie *et al.* 1992; Moreau, 1993); cela leur permet de se maintenir et de produire durablement en dépit de sols sableux pauvres, des feux et des prélèvements.

Indicateurs agronomiques absolus

Le système terrain- plante a longtemps été disjoint entre terrain (voire sol) et couvert végétal, le terrain étant perçu comme un support ou un substrat et non comme l'élément d'un système. Le système terrain- plante lui-même a longtemps été isolé de son contexte « système de culture ». Devant l'apparente abondance de terres tropicales, et dans un esprit de mise en valeur (plantations de rapport), il s'agissait d'abord de mettre en adéquation besoins des plantes et milieux favorables. Obtenues par des tests en vase de végétation ou encore des essais soustractifs en plein champ, des abaques de « fertilité chimique » qui associaient plusieurs paramètres ont ainsi été utilisées pour évaluer la capacité intrinsèque d'un sol à fournir des éléments nutritifs de manière équilibrée (Dabin, 1961; Dabin & Maignen, 1979; Boyer, 1982; ministère de la Coopération et du Développement, 1991). Cette approche seulement chimique fut complétée par la prise en compte de la qualité des transferts d'eau et de minéraux vers les racines grâce aux composantes physiques de la fertilité. Celles-ci, tant liées au climat qu'au terrain, peuvent compenser ou aggraver la pauvreté d'un sol ou l'incapacité du système racinaire d'une plante donnée, ou au contraire réduire les potentialités d'un sol riche en nutriments et de plantes efficaces (Hénin *et al.*, 1969; Morel, 1989). La « fertilité minérale globale » est alors évaluée d'abord sur l'abondance et l'équilibre d'ions nutritifs évalués à partir de la garniture du complexe en cations, et sur la recherche des anions assimilables (phosphates, nitrates); ensuite, elle repose sur l'étude de la profondeur exploitable, de la structure du sol et de la dynamique de l'eau. Pratiquement, on compare des teneurs et paramètres analytiques à des seuils de carence, déficience et toxicité, à partir d'analyses qui portent sur les fractions totales, mobilisables ou assimilables de ces éléments, et on effectue des bilans minéraux sur le long terme. En outre on explore structure du sol et enracinement de la plante sur un profil cultural. Ces critères et méthodes sont toujours des indicateurs utiles pour trier les situations et pour étudier une évolution à long terme.

Indicateurs relatifs à chaque système de culture

Dans l'approche agronomique actuelle, le système de culture est pris comme référence, non la plante seule; cela implique d'effectuer une typologie des systèmes de culture, vus comme un ensemble de règles techniques appliquées tant dans le domaine spatial (organisation spatiale, associations de plantes) que temporel (successions de plantes, itinéraires technique); cet ensemble technique est étroitement inscrit dans un système de production socio-économique (filière de produits, organisation et contrôle des moyens de production) qu'il est nécessaire de connaître pour en comprendre les répercussions techniques. Pour la composante « rendement », il est d'usage d'utiliser comme mesures directes le rendement potentiel ou maximal du système de culture étudié (Crétenet *et al.*, 1994), la régularité du rendement et enfin sa capacité à se maintenir à long terme (Piéri, 1989). Pour la composante coûts, on s'intéresse à la productivité des intrants (en particulier les plus coûteux, tels les engrais,) et aux conditions (travail, calendrier agricole, etc.); ces mesures peuvent être hiérarchisées suivant ce qu'attendent les exploitants agricoles; ainsi, les paysans sahéliens recherchent souvent plus un rendement sûr qu'un rendement élevé (De Rouw, 2000).

res qu'il convient de bien identifier avant de se prononcer sur les fonctions et les effets de la jachère (Bonetti & Loupe, 1998).

Enfin, si l'on souhaite donner aux recherches entreprises sur la jachère un caractère finalisé, c'est-à-dire utile pour le développement agricole, deux recommandations peuvent être faites.

La première résulte du constat que la nature et le rôle de la jachère évoluent en fonction des stades d'évolution agraire; aussi, pour être adoptées, les propositions de la recherche devront s'adapter à ces stades d'évolution.

Si la jachère sert essentiellement à l'entretien de la fertilité et que cette fonction régresse par suite d'un accroissement de la pression foncière, on pourra alors proposer aux agriculteurs, avec quelque chance de succès, des solutions de substitution, telles que les plantes de couverture, en même temps qu'il faudra examiner les autres moyens qui peuvent être mobilisés pour assurer une bonne gestion de la fertilité des sols (agroforesterie, légumineuses en rotation, fertilisants organiques et minéraux...).

De même, si la fonction principale de la jachère est fourragère, on pourra proposer l'introduction de plantes amélioratrices de la qualité fourragère des jachères en valorisant les nombreuses expérimentations entreprises sur ce thème, avant de passer à la culture des fourrages, etc.

Dans cette démarche de valorisation des acquis de la recherche, l'analyse des relations entre jachères et systèmes agraires nous enseigne également que l'amélioration de la jachère ne peut se limiter à des propositions techniques : les conditions sociales permettant l'adoption de ces propositions doivent également être prises en compte.

L'autre recommandation en vue de donner un caractère finalisé aux recherches sur la jachère consiste à valoriser les savoirs et les savoir-faire paysans et à accompagner les initiatives prises par les agriculteurs pour s'adapter aux conséquences de la réduction de la jachère.

Au Sahel, la diminution des ressources ligneuses par suite de l'extension des cultures a conduit de nombreuses communautés villageoises à protéger les rejets naturels d'arbres et d'arbustes qui poussent spontanément dans leurs champs et leurs jachères, au lieu de les rabattre comme ils le faisaient dans le passé lorsque la ressource ligneuse était abondante (Joët *et al.*, 1998). C'est en accompagnant une telle évolution que l'on peut espérer voir se développer l'agroforesterie comme substitut partiel de la jachère.

Pour terminer, on peut se poser la question de la nécessité de préserver les jachères pour assurer la reproduction des systèmes agraires.

Les différents facteurs qui sont à l'œuvre dans l'évolution de ces systèmes agraires se conjuguent pour réduire l'extension et la durée des jachères. Déjà, dans de nombreux terroirs d'Afrique, la jachère a pratiquement disparu du paysage. Face à une telle évolution, orienter les recherches vers la préservation du *statut quo* ou vers le retour à une situation antérieure plus ou moins idéalisée, nous semblent utopiques tant que s'accroît la population dans les campagnes africaines et que la mécanisation de la culture est appelée à s'y développer.

Il nous paraît plus réaliste d'orienter les recherches de façon plus prospective. Avec l'entrée annoncée dans une phase de transition démographique, ne faut-il pas imaginer une *transition agraire* qui, après le cercle vicieux d'une évolution de type malthusien qu'ont connu beaucoup de régions d'Afrique, permettrait l'amorce d'un cercle vertueux dans la gestion des milieux et des ressources? Dans cette perspective, plus que la jachère, ce qu'il faut s'efforcer de conserver, voire d'améliorer, ce sont les fonctions de cette jachère qui sont nécessaires au bon fonctionnement des systèmes agraires et à la durabilité de l'agriculture en Afrique tropicale.

Quelques systèmes de culture types

- Culture sur défriche-brûlis forestière

Dans les culture sur défriche-brûlis forestière, en zone humide sur sols acides, les longues jachères permettent le contrôle des espèces adventices. (de Rouw, 1993). La matière organique du sol (MOS) et les cendres assurent le maintien de conditions de nutrition minérale. La MOS entretenue par la phase jachère est la source d'azote, soufre et phosphore à travers sa minéralisation; elle assure également la rétention des cations dans les sols à kaolinite (Siband, 1974; Sébillotte, 1993). Dans les sols très acides, la MOS atténue la toxicité aluminique par complexation de l'aluminium libre (Bell & Edwards, 1987, cité par Bertrand et Gigou, *op.cit.*). Les cendres du brûlis redressent les pH acides (Moreau, 1993) ce qui importe vis-à-vis des toxicités, de l'activité biologique, et de l'accroissement de la capacité d'échanges ioniques des colloïdes à charges variable, telles la MOS et les oxydes et hydroxydes (Bertrand & Gigou, 2000).

- Systèmes de cultures fertilisées, labourées et traitées

Dans les systèmes de cultures fertilisées, labourées et traitées liées aux filières arachidières et cotonnières finançant des intrants, la fertilisation et le travail du sol pallient respectivement les déficiences des sols longtemps cultivés en azote, en phosphore et à la contrainte représentée par des structures de sols naturellement peu marquées, ou dégradées après quelques années de culture (Charreau & Nicou, 1971). La matière organique du sol joue dès lors un rôle moins évident qu'en culture sur défriche-brûlis; cependant, *via* ses fonctions d'échange, de réserve, énergétiques, physiques, biologiques, elle apparaît encore comme un paramètre central dans la question de la fertilité pour ces systèmes (Piéri, 1989).

- Système coton-maïs en savane

Avec la progression des systèmes de culture permanents de type coton-maïs, plus artificialisés, capables de corriger à coût limité certains déséquilibres par travail du sol annuel, fertilisations minérales, herbicides et pesticides, d'autres paramètres simples ou complexes deviennent importants à considérer pour le maintien de l'efficacité de ces investissements. Le maintien du pH, la conservation des ions par le maintien de la capacité d'échange en cations du complexe absorbant qui sert de tampon aux variations de pH, la conservation de la structure du sol et de la « santé » biologique du sol. La teneur en potassium et en calcium échangeables deviennent des indicateurs importants du potentiel de rendement sur les sols cultivés longtemps, dans la mesure où la fertilisation habituelle les restitue insuffisamment (Crétenet *et al.*, 1994). Les paramètres bases échangeables, matières organiques du sol, pH et taux d'éléments fins sont dès lors les pivots de la productivité et de la durabilité, et représentent les principaux indicateurs de l'évolution de la fertilité physico-chimique du sol (Piéri, 1989).

Les indicateurs adaptés à chaque système de culture peuvent donc être hiérarchisés. En particulier, on doit se demander si dans les systèmes de culture les plus artificialisés, la matière organique du sol doit être conservée comme indicateur de référence et de quelle manière, et si oui, comment la maintenir au niveau requis (Sanchez *et al.*, 1989).

L'indicateur « matière organique du sol » et ses seuils dans le contexte des systèmes actuels « maïs-cotonnier »

- Mise en évidence de seuils critiques en matière organique du sol

Si nous reprenons la première composante de la fertilité qui se manifeste à travers le révélateur « rendement », quelle est la valeur de l'indicateur « matières organiques du sol » ? Les données expérimentales sur les avantages à court et à long terme d'une fumure organo-minérale abondent en système céréalier ainsi qu'en système cotonnier labouré et fertilisé,

par rapport à une fumure uniquement minérale, et sur l'importance de la matière organique du sol pour le taux d'utilisation des engrais (Piéri, 1989). La matière organique apportée, si elle a un rapport C/N favorable, représente non seulement un amendement réduisant la nocivité des engrais pour les sols, un engrais complémentaire, y compris en oligo-éléments, mais aussi un apport énergétique stimulant l'activité biologique dont les minéralisations. Mais la teneur en matière organique du sol importe-t-elle ?

Une enquête a été réalisée sur six cents parcelles cotonnières, expérimentales ou paysannes, à texture sablo-limoneuse au Sud du Mali (Crétenet *et al.*, 1994) ; elle n'observe pas de relation générale entre teneur en matières organiques du sol et rendement (figure 1) ; en revanche, les rendements maximaux et minimaux (courbes enveloppe), de même que la régularité des rendements dépendent clairement de cet indicateur. Une petite adaptation du système de culture peut modifier l'importance de la matière organique du sol, comme le montre l'usage d'une fumure en potassium plus forte, qui permet d'obtenir une production normale sur des terres qui seraient abandonnées autrement et qui modifie la forme des courbes enveloppes.

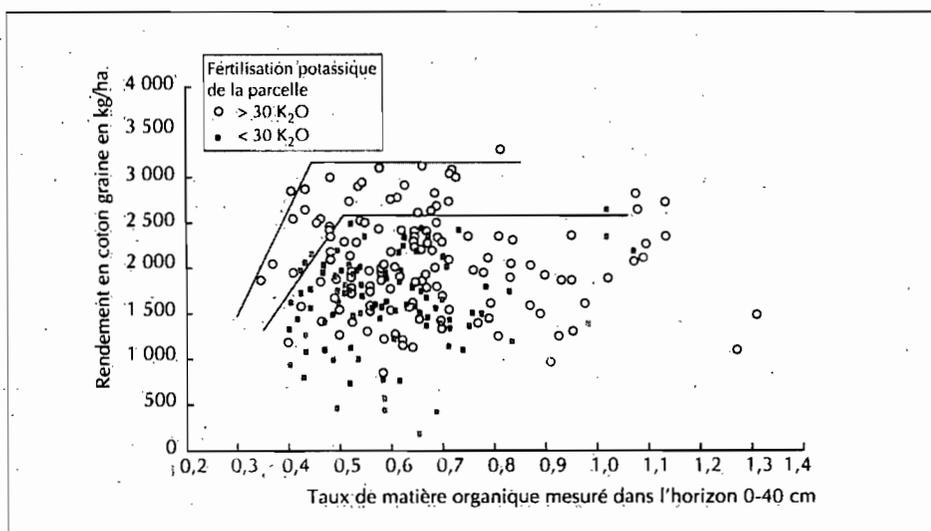


Figure 1. Rendement en coton graine en fonction du taux de matière organique et du niveau de fertilisation potassique du cotonnier (en unités par ha), avec courbes enveloppes, obtenu par enquête et expérimentations au Mali méridional (*d'après Crétenet et al.*, 1994).

Pour chaque type de sol, et pour chaque système de culture, plusieurs teneurs-seuil de matières organiques du sol et leur rendement potentiel correspondant pourraient donc être déterminés. La première teneur-seuil (« seuil pratique ») indique le taux de matières organiques du sol en dessous duquel le système de culture n'est plus faisable ou devient trop risqué, eu égard au coût d'accès à une autre terre, dans un contexte régional donné. La seconde (« seuil de productivité ») indique le seuil au-delà duquel la matière organique n'apparaît plus comme un facteur limitant du rendement potentiel, pour une gamme donnée de systèmes de culture. La troisième (« seuil de régularité ») indique la teneur à laquelle la variabilité des rendements ne se réduit plus. Au « seuil d'excès » se manifestent des effets directement défavorables (excès de végétations, rapports carbone-azote excessifs) ou des caractères propices à l'accumulation de matières organiques du sol, défavorables à la minéralisation et à la production par ailleurs (hydromorphie superficielle, acidité, froid).

- Fonctions de la matière organique du sol dans l'absolu

Pour expliquer pourquoi la matière organique du sol est une condition limitante sur une certaine gamme de teneur, il faut d'abord évoquer le rôle de substrat pour la biologie du sol et les propriétés physico-chimiques de la matière organique du sol, qui sont à l'origine de ses fonctions énergétiques, nutritionnelles, structurales et tampon.

Ainsi, pour les sols ferrugineux à kaolinite, les propriétés chimiques et biologiques dépendent largement du taux de matière organique, selon des fonctions à seuil et souvent linéaires. Balasubramanian *et al.* (1984), I.R.C.T. (1986) et Ouattara *et al.* (1997), obtiennent une corrélation positive entre matières organiques du sol et des conditions chimiques considérées comme favorables : teneurs en azote (la matière organique représente la quasi totalité des réserves d'azote et soufre du sol), capacité d'échange en cations, calcium échangeable, résistance à l'acidification et à l'apparition d'aluminium et fer assimilables toxiques. La relation avec le potassium échangeable est généralement moins nette. La matière organique fournit au moins 50% du phosphore assimilable et plus dans un sol à fort pouvoir fixateur, tout en réduisant l'immobilisation du phosphore dans ces sols (Bertrand et Gigou, 2000). Feller *et al.* (1993) observent une corrélation entre la teneur en matières organiques du sol avec l'azote minéralisable et le taux d'activité des micro-organismes, conditionnant ainsi la « fertilité biologique » du sol. Pour persister et pour leur activité, de nombreux êtres vivants humivores ou hétérotrophes, maintenant la porosité de ces sols sans argiles gonflantes et assurant certaines fonctions nutritives, exigent la présence d'un minimum de matière organique. Pour Bertrand & Gigou (*op.cit.*), la MOS favorise l'activité de la faune (donc la porosité), d'où une bonne structure, une bonne aération et une bonne infiltration d'eau, et joue un rôle dans la rétention d'eau. Pour Cissé (1986), un rôle non négligeable de l'activité biologique (variant avec la matière organique du sol) est la stimulation du développement racinaire. Dans le domaine nutritionnel, c'est le compartiment biologique du sol, dont la matière organique est un des aspects, qui importe pour le pilotage de certaines propriétés physiques et de la nutrition minérale des plantes (Chotte *et al.*, 1997).

Malgré ces relations positives, on ne saurait faire l'amalgame entre fertilité et teneur en matières organiques du sol. L'accroissement « anormal » de la matière organique du sol peut être un signe de déséquilibre ou de dysfonctionnement de l'écosystème (matières organiques peu bio-dégradables, sol très argileux, acide, trop sec ou engorgé) et donc aller dans le sens d'une circulation lente des nutriments, voire de leur immobilisation, empêchant toute production ; mais une minéralisation trop active va aussi dans le sens des pertes en sels minéraux assimilables et de l'acidification. Une croissance végétale exagérée conduit à une immobilisation et à des pertes potentielles si cette biomasse est exploitable. Il y a une mesure à respecter tant dans le processus d'accumulation que dans celui de libération. Il existe des régulations que l'on retrouve dans le fonctionnement d'un écosystème naturel et qui fondent tant sa productivité que sa durabilité ; de plus, la valeur absolue de la matière organique du sol ne représente pas un indicateur valable en soi, car tout dépend de la texture, tant dans le domaine nutritif que structural.

- Fonctions de la matière organique du sol dépendantes de la texture

De même que la capacité à fournir des bases dépend de la texture (Dabin et Maignen, 1979), la relation positive entre matières organiques du sol et paramètres favorables à la croissance et la durabilité est fonction de la texture ; lorsqu'on se place dans des conditions texturales variées, on remarque généralement que le rapport entre les matières organiques du sol et le taux d'éléments fins prédit mieux certaines propriétés, comme la résistance à l'acidification (Ouattara *et al.*, 1997) et la fourniture d'azote (l'argile protégeant la matière organique), que la valeur absolue. La capacité d'échange en cations dépend en revanche linéairement de la matière organique du sol dans les sols à kaolinite, à pH constant.

La composition de la matière organique du sol est aussi directement liée à la texture du sol. Il existe différentes fractions organiques granulométriques « associées » aux fractions granulométriques du sol ; pour les plus grossières, il s'agit de juxtaposition ; pour les plus fines, ils s'agit d'étroites associations ; ces fractions présentent des propriétés et des fonctions physiques et biologiques variables (Feller *et al.*, 1993).

Les fractions organiques grossières libres (20 μm -2 mm), principalement formées de débris végétaux en voie d'évolution, ont des compositions chimiques variables (rapport carbone-azote : 15 à 40 ; rapport cellulose-lignine : 1 à 2 ; teneurs variées en composés phénoliques solubles), qui les rendent plus ou moins biodégradables et qui contribuent plus ou moins à la minéralisation et à l'humification.

Les fractions organiques fines (fraction organo-argileuse, 0-2 μm + fraction organo-limo-neuse fine 2-20 μm amorphes), aussi dites *fraction organo-minérale*, liées aux argiles et limons fins (50 à 80 p. cent de la matière organique du sol ; de rapport carbone/azote = 10) sont les plus stables ; elles sont fortement liées aux particules minérales fines. Les processus microbiens conduisent à la libération des fractions fines, qui ne sont pas retenues dans les sols sableux, faibles en complexe d'échange et en faune d'agrégation ; cet « humus stable » a une demi-vie de quelques dizaines d'années à quelques siècles selon qu'il est stabilisé physiquement (agrégation par la faune), ou chimiquement (polymérisation) [Jenkinson & Rayner, 1977] ; sa polymérisation éventuelle lui confère des propriétés dans la stabilisation des particules minérales : c'est le compartiment de « stockage à long terme » ; cette fraction fine contient aussi la *biomasse microbienne* (2 à 3 p. cent du carbone du sol) et les débris et métabolites bactériens qui ont un rapport carbone-azote de six ; à l'opposé de l'humus, son taux de renouvellement est très rapide ; de cette biomasse microbienne dépend directement le taux de minéralisation, d'où le terme parfois employé de « fertilité biologique » lorsque la biomasse microbienne est abondante et active (Herrick & Wander, 1998).

En matière de fonctions physiques, le rôle de la MOS sur la réserve utile est faible dans le cas des sols sableux (De Ridder et van Keulen, 1990) mais cependant non nul : une variation de 0,1 p. cent de MOS modifie la réserve utile de 1,7 mm/dm de sol selon Cornet (1980). Il est aussi admis que la matière organique du sol joue un rôle fondamental dans la stabilité structurale des sols ferrugineux ; considérant que cela dépend de la texture, Piéri (1989) donne en conséquence le rapport entre la matière organique du sol et le taux d'éléments fins comme indicateur de sensibilité à la dégradation structurale ; au-delà d'un seuil critique évoqué plus haut, il y a effondrement structural ; mais cet indicateur, soumis à l'épreuve des faits, se révèle incomplet ; ainsi Ouattara *et al.* (1997), en comparant une centaine de parcelles dans la région soudanienne de Bondoukuy, mettent-ils en évidence l'absence de relation significative entre l'indicateur « matières organiques du sol » et la stabilité à l'eau des agrégats supérieurs à 0,2 millimètre, dans chaque classe d'occupation du sol et dans chaque classe de textures (figure 2) ; en revanche, l'effet direct du type d'occupation (culture ou jachère, âge de la jachère) est très significatif, et il faut en chercher la cause dans le rôle de certains processus biologiques sous jachère.

• Le seuil de durabilité

Le « seuil de durabilité », prend en compte à la fois une contrainte économique (éviter un coût permanent d'adaptation à la dégradation, comme les amendements calciques ou le travail du sol très fréquent) et le principe de précaution ; pour De Ridder & van Keulen (1990), l'intérêt de la matière organique en système correctement fertilisé tient à la réduction des effets acidifiants des engrais et à l'amélioration de leur efficacité. Non directement visualisable sur le graphique de la figure 1, ce seuil serait la limite de teneur à ne pas dépasser pour maintenir les fonctions biologiques et les fonctions tampon qui permettent au sol de conserver ses caractères physico-chimiques sans nouveau palliatif. Piéri (1989) donne, pour les sols de moins de quinze pour cent d'éléments fins, un niveau critique pour le rapport entre

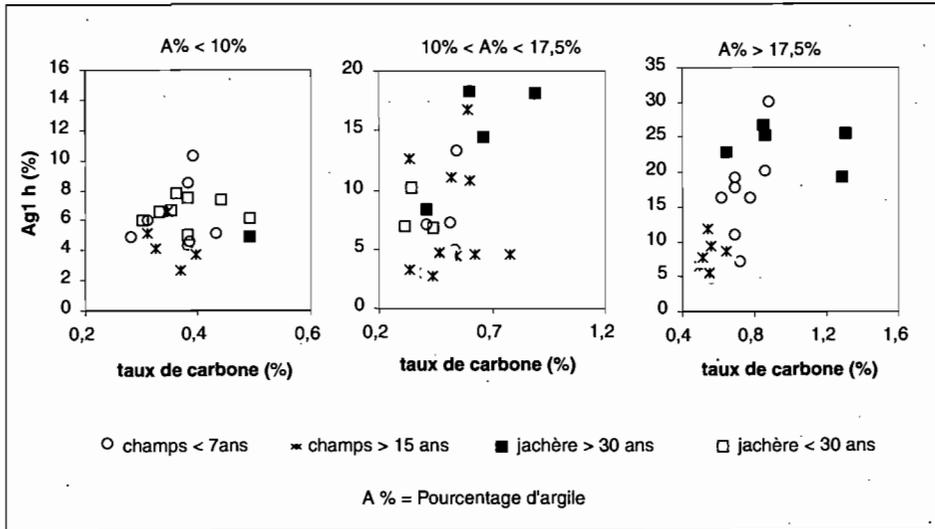


Figure 2. Agrégats stables supérieurs à 0,2 mm (après 1 heure d'agitation dans l'eau)(Ag1 h) et taux de carbone dans des sols (0-20 cm) de parcelles de la région de Bondoukuy (Burkina Faso) (Ouattara *et al.*, 1997).

matières organiques et taux d'éléments fins de 0,05 ; ce serait le seuil en dessous duquel il n'y a plus assez de fractions organiques fines pour stabiliser la micro-structure.

Ouattara *et al.* (1997), à partir de leur enquête sur l'état physico-chimique des sols de Bondoukuy, proposent de prendre comme référence pratique de durabilité la teneur de matières organiques du sol d'équilibre des savanes en culture itinérante ($= 0,0123$ [taux d'éléments fins] + $0,295$) avec une tolérance de dix pour cent ; cette teneur suffit dans les savanes à maintenir dans les sols ferrugineux un pH de six, une capacité d'échange en cations, et un équilibre biologique ; cette teneur-objectif maximale correspond à la moitié du niveau d'équilibre organique observé dans les sols forestiers ; elle peut être maintenue en culture permanente avec travail du sol par une fumure organique régulière ($5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de matières organiques pré-humifiées par an) ; mais cette teneur idéale «de durabilité», est impossible à maintenir sur l'ensemble des champs dans l'état actuel de disponibilité de matières organiques (Dugué, 1999) : elle peut certainement être réduite par d'autres pratiques de durabilité : en faisant appel à la fois à des amendements calco-magnésiens (Bado *et al.*, 1997), à des apports organiques réguliers mais moindres combinés à des apports adroits d'azote (Ganry *et al.*, 2000), enfin à des périodes de repos ou à l'agroforesterie, en soutien à l'activité biologique ; elle pourrait aussi être réduite grâce à certains modes de gestion des jachères et des cultures (Piéri, 1989 ; Azotonde *et al.*, 1998 ; Groot *et al.*, 1998) que nous évoquerons en troisième partie.

• Conclusion

Sur la première moitié de sa gamme de variation, et à travers ses différents seuils relatifs à la texture, la matière organique du sol se révèle comme un bon indicateur pour les composantes de la fertilité «rendements potentiels», «régularité» et «durabilité», pour les systèmes cotonniers marqués par une fertilisation minérale moyenne ; mais son accumulation au-delà du seuil de durabilité, où elle est déjà coûteuse, n'offre pas d'intérêt.

Cet indicateur est cependant loin de suffire : les éléments fins, le pH et les teneurs du sol en bases échangeables, surtout potassium et calcium sous l'effet de l'érosion et du lessivage,

des exportations et de l'acidification prévisible des terres (Van der Pol, 1992 ; Roose, 1993 ; Crétenet *et al.*, 1994 ; Breman, 1997) sont aussi des indicateurs incontournables car les apports organiques, qui proviennent de milieux déjà appauvris, peuvent être eux-mêmes déficients en matière d'apport de bases et de phosphore.

***Approche « agro-écologique » de l'évaluation de la fertilité :
indicateurs de fonctionnement***

La productivité d'un écosystème est le bilan d'un processus pour lequel l'aptitude intrinsèque médiocre du sol (vue à travers ses paramètres abiotiques et la matière organique du sol) est compensable par certaines fonctions des écosystèmes, comme les fonctions d'accumulation et de recyclage, assurées par les bois, racines, litières et communautés de décomposeurs, et les fonctions d'assistance nutritionnelle par des microorganismes « alliés » des plantes ; c'est le cas des milieux sableux, pauvres en complexe absorbant, ou de milieux argileux à forts pouvoir fixateurs de nutriments.

Dhillion (2000) présente une réflexion où il considère peu concluantes les études sur l'évolution des caractères abiotiques du sol en fonction des temps de jachère, alors que les caractères biotiques (désignés sous le nom de bio-indicateurs : biomasse microbienne en carbone, azote, phosphore, longueur des hyphes mycorhiziens, potentiel d'inoculum mycorhizien, nombre de nématodes et micro-arthropodes, nutriments, biodiversité végétale) sont mieux reliés à l'âge de la jachère. La jachère réanime les fonctions de fertilité de l'écosystème perturbé, en réinjectant des matières organiques mortes ou vivantes (exsudations, racines à fort taux de renouvellement, racines pérennes), en diversifiant la biologie du sol, en immobilisant des sels minéraux dans la biomasse à titre conservatoire. Le maintien de l'intégrité de ces systèmes ouverts, non isolés, et en non-équilibre thermodynamique, exige d'une part la consommation d'un flux constant d'énergie (Muller, 1997), dont le carbone est la principale source, d'autre part l'existence d'un ensemble d'agents clés qui en assurent les différentes fonctionnalités.

Pratiquement, cette réflexion sur une fertilité « systémique » a commencé en dressant la liste et en combinant les différentes « fonctions » du système sol-plante. Karlen & Stott (1994) définissent trois ensembles d'indicateurs physiques et nutritionnels :

- stocks et flux de facteurs de production (eau, éléments minéraux, matière organique) ;
- organisation (structure, porosité, stabilité) ;
- systèmes de régulation physico-chimiques (acidité, oxydo-réduction) et biologiques (activités rhizosphériques, microbiennes, fauniques).

Conclusion

En étudiant les différentes perceptions de la fertilité et les différentes manières de la mesurer dans le cas des savanes d'Afrique de l'Ouest, nous avons trouvé utile de compléter l'approche classique analytique et externe par une approche systémique et interne, tant pour l'améliorer, que pour l'adapter aux objectifs de durabilité, d'une part, et aux systèmes de culture fondés sur une économie d'intrants, d'autre part ; nous faisons particulièrement référence aux systèmes à jachère, à l'agro-foresterie, aux associations végétales, au travail minimal du sol sous couvertures.

Nous verrons en seconde partie que la jachère est d'abord un processus actif de restauration d'un écosystème forestier ou savanicole après une perturbation plus ou moins sévère. Le fonctionnement de la jachère repose essentiellement sur des mécanismes biologiques et se traduit par l'accroissement des biomasses, litières, racines et de la biodiversité fonctionnelle (surtout activités microbiennes et fauniques). L'accroissement de la matière organique du sol qui servira, en plus des cendres et racines résiduelles, de base nutritive à la phase de culture et de substrat pour la biologie du sol, n'est pas un indicateur unique et suffisant du

bon fonctionnement de l'ensemble culture-jachère ; l'idéal serait de lui associer des indicateurs qui expriment une dynamique saisonnière ou des flux de carbone et d'azote et autres éléments nutritifs assimilables qui révéleront véritablement le dynamisme de l'écosystème (Masse *et al.*, 1998 ; Manlay *et al.*, 2000). Parmi ces indicateurs, la présence et l'abondance de certains êtres vivants « auxiliaires » peuvent être citées.

L'approche analytique classique de la fertilité demeure utile, car les systèmes de culture restent encore, peut-être pour des raisons de simplification dans un contexte d'incertitude, fondés sur la destruction des principales fonctions et organisations biologiques pré-existantes ; l'agriculture « écologique » elle-même serait peu efficiente lorsque le milieu est trop dégradé (Breman, 1997). Si la maîtrise des interactions complexes est souhaitable, elle doit être aussi à la portée du paysan et elle ne doit pas impliquer de risque supplémentaire ni de forte chute de rendement.

Deuxième partie : **le système culture/jachère et ses changements d'état**

Le système de production fondé sur la culture itinérante ou sur les jachères longues est un système équilibré à bas niveau de travail, d'intrants et de productions, qui maintient durablement son milieu, en régulant cycle de nutriments et de pestes. Certains états dégradés après culture se restaurent lors de la phase jachère, particulièrement les infestations d'adventices, les niveaux de nutriments assimilables et les états structuraux.

L'accroissement des durées de culture, sans restitutions suffisantes, appauvrit les terres et dégrade les fonctions biologiques. Pour optimiser l'exploitation de ressources minérales amoindries, on a préconisé des modèles intensifs fondés sur une imitation des écosystèmes, qui permettent en particulier de mieux synchroniser l'offre du milieu en nutriments et la demande par les plantes : agro-foresterie, plantes de couvertures et litières (Myers *et al.*, 1994) ; mais, tout comme l'agriculture intensifiée au moyens d'intrants, l'agriculture « écologique » perd de son efficacité avec la dégradation des terres (Breman, 1997).

C'est pourquoi la question de l'effet des systèmes à jachère en matière de fertilité se pose encore actuellement, car la jachère reste un des moyens de conservation et réhabilitation des terres, directement ou indirectement, qui peut venir en soutien d'autres moyens insuffisamment disponibles, comme les amendements minéraux et organiques. Les besoins de connaissances concernent d'abord la jachère naturelle, mais aussi des modes de gestion des jachères « améliorées » ou « artificielles » susceptibles d'optimiser les fonctions de fertilité, ainsi que les mesures de substitution en culture continue.

Les modèles scientifiques qui ont cours, ont été établis plutôt en « culture itinérante » et en zone guinéenne, où alternent des écosystèmes forestiers et de très courtes phases culturales ; ainsi, dans les contextes particulièrement exemplaires de la culture itinérante en forêt humide, il a été largement démontré, depuis les précurseurs Greenland & Nye (1959) jusqu'à Moukam *et al.* (2000), que ce système maintient certains processus et paramètres du milieu nécessaires aux cultures : limitation des flores adventices, mobilisation superficielle de sels minéraux lessivés ou libérés en profondeur et réintroduits par racines, litières et cendres, conservation organique des horizons supérieurs, restructuration, équilibrage des faunes utiles et pathogènes.

Or, les processus ne peuvent être aussi tranchés et les connaissances elles-mêmes sont encore sporadiques dans les cas de la culture itinérante ou à jachères, d'une part en milieu de savane et au Sahel, d'autre part dans les situations actuelles de transformation des systèmes de culture. Les processus de « régénération » et de « conservation » sur un milieu très différent et moins favorisé ne peuvent y être identiques ; d'autres processus - l'accroissement des

durées de culture, le pâturage intense, le feu, l'érosion, les sécheresses et les prélèvements humains abondants - les compliquent.

Après l'évocation des méthodes d'étude, nous suivrons les changements d'état du système culture-jachère depuis la décision d'abandon d'une culture jusqu'à la décision suivante en passant par la défriche de la jachère.

Définitions et méthodes

Concepts

Les outils théoriques pour analyser la fertilité au travers du cycle culture-jachère (C/J) proposés par Sébillotte (1993) sont principalement le concept d'*effet précédent*, de *sensibilité du suivant* et d'*effet cumulatif*.

L'effet précédent

L'effet précédent exprime les changements introduits par la phase de jachère à partir d'un état initial donné. L'effet précédent est lié à des processus physico-chimiques soit autonomes, liés au sol, au climat, soit conduits par des agents biologiques spécifiques qui opèrent sur le milieu issu des cultures précédentes. Ces agents peuvent être regroupés lorsqu'ils ont la même réponse écologique et les mêmes fonctions dans l'écosystème. Les «groupes fonctionnels» sont «des groupes d'espèces qui utilisent les mêmes ressources et répondent aux perturbations par des mécanismes similaires» (Gitay & Noble, 1997). Il convient donc de connaître la faune et la flore, les techniques et prélèvements appliquées par l'homme et ses animaux domestiques (modes d'abandon du champ, coupes, pâturages, restitutions, modes de défriche), enfin les conditions environnementales (climat, apports extérieurs, sol et sous-sol, états initiaux). La phase de culture elle-même développe un effet précédent vis-à-vis de la phase jachère à travers une transformation plus ou moins prononcée de l'état «défriche».

De nombreux facteurs de nature fort différente concourent à l'évolution de l'état du milieu. Il semble dès lors nécessaire de distinguer ceux qui sont liés à une propriété locale du système qui implique des processus qui se déroulent dans le temps (*processus internes*), de ceux qui s'exercent dans la dimension spatiale (*transferts et organisations*).

Bien souvent, les recherches se sont contentées d'aborder les dynamiques au sein de la phase de jachère ou au sein de la phase de culture, sans les relier d'une part, et indépendamment du contexte général, d'autre part ; or, nous verrons que la même jachère ne présente pas le même effet précédent si elle s'inscrit dans un système à forte intensité culturelle et de prélèvement ou dans un système à faible intensité culturelle.

La sensibilité du suivant

La sensibilité du suivant (parfois nommé «effet suivant») exprime les processus d'élaboration du rendement utile qui s'établissent à partir de la reprise culturelle et qui vont valoriser plus ou moins l'état «défriche», suivant le type de plante cultivée et le système de culture adopté. Pour un état final donné, différentes plantes, cultivées de différentes manières, «répondront» différemment ; c'est pourquoi il est si délicat de choisir une «plante révélatrice de fertilité». Le maïs est souvent la plante choisie par les expérimentateurs soucieux de standardisation mais on gagnerait à tester les plantes principales du système de culture concerné par l'étude.

L'effet cumulatif

Enfin, le dernier outil d'analyse est l'effet cumulatif, c'est-à-dire l'impact d'une succession de cycles sur l'état moyen du milieu et des productions, mais encore peu de recherches ont abouti sur ce sujet.

Les études diachroniques

La méthodologie des études diachroniques, nécessairement longues, est la plus simple. Le principal problème qui se pose est la représentativité et l'homogénéité intra-parcellaire, qui exigent des études initiales de la variabilité et introduction d'un facteur aléatoire par des répétitions suffisantes ; en effet, la parcelle tropicale parsemée de termitières, arbres, passages d'eaux et zones qui ont connu un itinéraire technique particulier (sous-parcelles) pose de gros problèmes d'échantillonnage, qui doit être de préférence stratifié (Milleville, 1972).

L'analyse synchronique

L'analyse synchronique par enquête profite de la variabilité. On étudie en même temps des parcelles de milieu ou d'histoire culturelle variée, des jachères d'âges différents, « en grappes », considérant que cette « série progressive » simule une étude diachronique ; cette méthode cependant, pour être juste, requiert deux types de préalables :

- d'abord il faut prendre en compte la variabilité inter-parcellaire en introduisant un facteur aléatoire : en disposant de plusieurs grappes, on obtient ainsi des dispositifs expérimentaux en « blocs éclatés » ;

- il faut de plus que les systèmes étudiés soient homogènes et donc bien sériés : les jachères de vingt ans doivent appartenir au même système culture-jachère que les jachères de deux ans de la grappe et elles doivent avoir connu dans leurs dix premières années les mêmes conditions agro-pastorales et climatiques que les jachères de dix ans actuelles.

La remontée biologique de la jachère

Au cours des successions végétales post-culturelles, des microorganismes et végétaux particuliers colonisent ou dominent successivement le milieu : plantes annuelles, herbacées pérennes puis ligneux. En s'alimentant progressivement, ces êtres vivants accumulent dans leurs tissus des sels minéraux. Cette mobilisation minérale est sans doute l'effet le plus immédiat des jachères mais bien d'autres effets accompagnent cette restauration biologique du milieu, sous l'impact des différents « groupes fonctionnels ».

Processus généraux de mobilisation minérale

Les éléments accumulés dans les organes des êtres colonisant les jachères représenteront un amendement basique et un engrais complet et équilibré, une fois minéralisés par le feu pour les parties aériennes et par les micro-organismes pour les matières organiques souterraines excrétées, tuées ou enfouies au cours de la jachère et de la défriche. Par exemple, pour une forêt secondaire de 40 ans sous climat guinéen, les racines représentent 25 tonnes par hectare de matière sèche de racines, contenant 214 kg d'azote, 26 kg de P_2O_5 et 105 kg de K_2O , 204 kg de CaO ; les 336 tonnes de parties aériennes contiennent respectivement 1831, 287, 983, 3537 kg des éléments précités. Une savane à Andropogonées en savane soudanienne de 20 ans mobilise en revanche seulement respectivement 13, 8, 13, 3 kg des éléments précités dans 4 tonnes de matière sèche par ha de racines des graminées. Pour les parties aériennes des herbacées 9 tonnes de biomasse contiennent 27, 18, 55, et 49 kg d'éléments ; les arbres de cette savane donnent quant à eux 54 t/ha de partie aériennes soient 54, 100, 33, 175 kg d'éléments (Nye et Greenland, 1960). En comparaison, une culture de maïs en zone

soudanienne représente 7 tonnes de matière sèche mobilisant 102, 14, 105, 13 kg d'éléments (Piéri, 1989).

La mobilisation minérale a pour origine des processus contrastés entre groupes fonctionnels : la fixation non symbiotique et l'assistance à l'absorption d'éléments peu assimilables par les mycorhizes (traitée dans Chotte *et al.*, 2000), la fixation symbiotique et la nutrition des différentes plantes des jachères à partir des formes minérales assimilables et mobilisables présentes dans le sol ou apportées en cours de jachère. Cette mobilisation dépend de la situation pédo-climatique, de l'état initial, de la durée et de l'écologie de la jachère. Elle est aussi plus importante pour les ligneux que pour les herbacées.

Facteurs pédologiques

Certains milieux sont avantagés pour des jachères courtes : ceux qui disposent de minéraux altérables et sans contraintes hydrique ou chimique pour que les racines des ligneux à racines profondes puissent accéder aux horizons profonds pour en remonter les nutriments. Au contraire les sols très évolués, tels que les sols ferralitiques aux sous-sols acides, nécessitent des jachères longues et surtout une période culturale peu appauvrissante : courte et bien occupée par une végétation pérenne.

Si le sol est carencé en phosphore, la végétation elle-même sera carencée, la mobilisation faible, et la fixation d'azote inopérante, entraînant aussi une faible humification par défaut d'azote. Ce cercle vicieux peut être levé par des investissements minéraux exogènes (Bertrand et Gigou, 2000).

La récupération des bases prend beaucoup de temps sur les sols lessivés, acidifiés et lixivés en profondeur. En revanche, la capacité d'adsorption anionique importante des minéraux colloïdaux sous certaines formes, en conditions acides, permet de retenir des ions phosphates et sulfate des sols ferrugineux et ferralitiques dans les horizons B, et même les ions nitrate dans les horizons riches en gibbsite de certains sols (Hue *et al.*, 1985 cité par Bertrand et Gigou, 2000) ; cette rétention, plus ou moins énergique, maintient une possibilité de récupération ultérieure de nutriments et d'accumulation sous une forme mobilisable lors de la jachère forestière si l'acidité de ces horizons et l'adaptation des plantes de la jachère et leur rhizosphère le permettent (densité d'enracinement, acides végétaux à effet solubilisant, mycorhizes...).

Processus initiaux et états initiaux critiques

Le statut minéral du milieu initial est essentiel. Une carence en un élément ou un horizon de surface globalement pauvre peut rendre la jachère inopérante et même empêcher les plantes pérennes de s'installer. Le bilan minéral cultural et la décision de mise en jachère ont donc une importance capitale.

La décision d'abandon d'un champ, selon nos enquêtes à Bondoukuy (Burkina Faso), apparaît soit liée à des raisons socio-culturelles (décès d'un membre de la famille par exemple), soit à la chute de la rentabilité du processus de production, ou à ses signes avant-coureurs (cas du parasite *Striga* spp. en système céréaliier ancien ou de *Eragrostis tremula* en système cotonnier qui servent de sonnette d'alarme), mais jamais, apparemment, à des besoins supposés de la jachère.

Pendant les premiers stades de la jachère, dominées par des herbacées annuelles à enrancement superficiel, des pertes de nutriments se poursuivent par minéralisation de la matière organique du sol. La durée de la phase d'équilibre puis la vitesse de restauration du niveau de nutriments disponibles dans l'écosystème dépendent du type de sol, de l'état initial et de la gestion de la jachère. Il faut déjà que l'état de fertilité résiduelle permette à l'écosystème, et en particulier aux groupes fonctionnels clés (graminées pérennes, ligneux, symbioses, champignons mycorhizogènes, microflores et macrofaunes), de s'installer, de croître et de se reproduire ; or, ces conditions peuvent ne pas être remplies sur certains milieux lorsque les

cultures longues et insuffisamment fertilisées laissent un milieu dégradé et en deçà des conditions critiques pour certains groupes fonctionnels clés ; Fournier & Nignan (1997) évoquent ainsi le cas de successions bloquées sur certains milieux dégradés où le stade à graminées pérennes ne parvient pas à remplacer celui des annuelles. Au contraire en cas de fertilisation d'un élément particulièrement carent dans le sol (par exemple P), la jachère peut mobiliser rapidement les ions nitrates et leurs cations, qui sinon seraient lixiviés après culture, et favoriser une flore spontanée plus propice comme des légumineuses, et un temps de jachère plus court pour obtenir la même mobilisation minérale (Bertrand & Gigou, 2000).

Facteurs écologiques et groupes fonctionnels végétaux

Sur tous les types de sols, les modes de régénération des nutriments dépendent de nombreux facteurs biologiques et techniques : les biocénoses, certaines espèces étant plus efficaces que d'autres, les modes d'allocation de matières organiques, les pratiques de gestion. L'excès d'homogénéité est dans certains cas un facteur défavorable.

Aweto (2000) observe ainsi que les sols s'appauvrissent vers le Nord en même temps que la végétation passe de la forêt à la savane. Ouattara *et al.* (1997) ont mis en évidence, sur le même site soudanien de Bondoukuy, une meilleure efficacité des écosystèmes forestiers (forêts denses sèches, forêts claires) à maintenir la matière organique en culture itinérante que celle des écosystèmes de savane, pour une texture donnée (figure 3). Le type écologique des jachères est donc une autre donnée utile à prendre en compte sur les changements d'état lors de la phase jachère : microfaunes, graminées, ligneux, légumineuses et non-légumineuses, et leurs différentes associations auront des impacts variés.

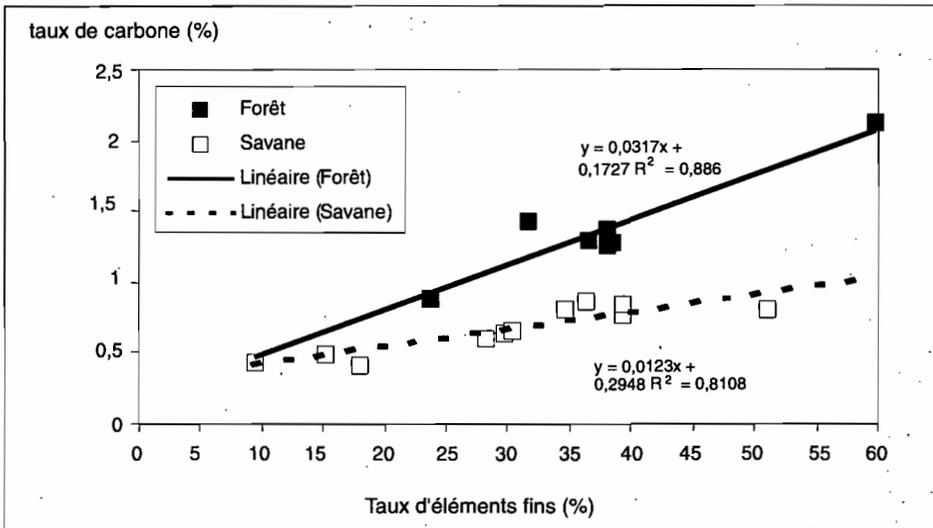


Figure 3. Relation entre carbone organique (0-20 cm) et taux d'éléments fins du sol en culture itinérante (essarts ou jachères) dans deux types d'écosystèmes en région de Bondoukuy (d'après Ouattara *et al.*, 1997).

Processus microbiens et fauniques

Parmi les groupes biologiques fonctionnels qui interviennent dans les processus de réhabilitation au cours des jachères, il faut évoquer la diversité et la croissance de la biomasse microbienne, la fixation libre d'azote, la symbiose mycorhizienne qui assiste l'absorption

des éléments diffus ou peu assimilables par les racines, la faune des macro-invertébrés décomposeurs et fousseurs (Masse *et al.*, 1998); compte tenu de l'importance de ce sujet, nous renvoyons le lecteur à la synthèse de Chotte *et al.* (2000). Retenons que l'activité biologique du sol se diversifie et explose durant les premiers stades des jachères mais qu'elle tend à se ralentir avec les durées de jachère les plus longues. L'efficacité de cette vie du sol à le réagréger, à fixer de l'azote, à favoriser la mobilisation minérale des racines, à recycler et stabiliser de la matière organique, dépendent des états initiaux, de la durée de jachère, des groupes fonctionnels présents mais aussi de certains modes de gestion de la jachère comme sa mise en défens (contre les feux, le pâturage et les prélèvements) qui agiront plus ou moins sur chacun d'entre eux (Nebie, 1999).

La fixation d'azote symbiotique

La fixation de l'azote atmosphérique par les associations symbiotiques Rhizobium-légumineuses peut être très élevée; elle est cependant variable, soumise tant à des facteurs spécifiques et variétaux, hydriques, facteurs liés aux souches de Rhizobium, facteurs culturels (phosphore, chaux, fumier, labour, ont des impacts positifs sur la fixation; en revanche, la présence d'azote minéral est défavorable; Piéri, 1989). Souvent, en situation semi-aride, la nutrition azotée des légumineuses dépend d'abord de l'azote du sol, car les périodes où l'azote est limitant et les périodes humides, seules propices à la fixation, sont courtes (Piéri, 1989); ces cultures, dont les parties aériennes sont généralement fortement exploitées, n'enrichissent pas le sol en azote; en revanche, les légumineuses des jachères, et les légumineuses pérennes, installées en soles de repos ou fourragères, et comme plantes de couverture, pourraient jouer ce rôle. Les jachères à herbacées présentent dans leur flore de nombreuses légumineuses, en particulier des genres *Crotalaria*, *Tephrosia*, *Alysicarpus*, *Indigofera*, *Stylosanthes*, qui accompagnent les graminées annuelles et pérennes. La fixation d'azote a été étudiée sur des légumineuses fourragères des jachères (Dreyfus *et al.*, 1998): *Tephrosia purpurea*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Alysicarpus glumaceus*; elles sont souvent plus efficaces que des légumineuses introduites non spécifiquement inoculées.

Les graminées pérennes et les ligneux

La mobilisation minérale

Les végétaux pérennes qui colonisent les jachères après la phase à herbacées annuelles ont un enracinement plus profond que celles-ci. De ce fait ils peuvent mobiliser les reliquats, accumuler et recycler des minéraux assimilables, réduisant les risques de pertes, comme l'ont montré certains essais d'*Andropogon gayanus* semé à Bondoukuy, ayant particulièrement profité pour leur croissance initiale des reliquats d'engrais et de phénomènes de remontées capillaires.

Les éléments solubles étant exploités directement et continuellement par la végétation pérenne, ils tendent à disparaître sous jachère. Les pertes minérales par lixiviation et fixation ou rétrogradation sont dès lors négligeables, comme les pertes par érosion. Seules se poursuivent les pertes par volatilisation (azote, soufre) en cas de feux de brousse. Mais ceux-ci font en fait perdre très peu d'azote, les tiges desséchées de graminées n'en contenant que de très faibles quantités (de l'ordre de 2 kg d'azote par tonne de matière sèche, Penning de Vries et Djiteye, 1991).

Dès lors, l'alimentation minérale des plantes pérennes dans ce contexte de pénurie d'éléments assimilables provient de différentes sources :

- Leurs propres éléments stockés dans ses organes souterrains (graminées pérennes, arbres), recyclés par la biologie du sol (turn-over racinaire) et les micro-organismes ou minéralisés par les feux de brousse. Ce mode d'alimentation concerne surtout les jachères âgées dans lesquelles la biomasse totale évolue peu.

- Les fixations microbiennes puis la minéralisation des corps microbiens
- Des remontées minérales assimilables, par capillarité, dans les périodes initiales. C'est le cas après des saisons particulièrement pluvieuses qui maintiennent les nappes proches de la surface en bas de pente et peuvent entraîner des remontées capillaires enrichies en éléments solubles (éventuellement engrais lixiviés) en saison sèche.
- l'accumulation des apports externes (pluies, ruissellements, feces, cendres et aérosols d'origine marine, volcanique, atmosphérique ou désertiques piégées sur les feuilles, touffes et ramures). Les apports aérogènes annuels représentent en Afrique de l'Ouest 5 à 10 kg d'azote par ha, pas de phosphore, env. 30 kg de bases diverses dont 10 de K_2O (sources diverses dans Pieri, 1989 et Bertrand et Gigou, 2000)
- la mobilisation et l'accumulation des produits de l'altération et de la mobilisation lente de minéraux peu assimilables (phosphore fixé sur les colloïdes des sols acides, potassium rétrogradé). Cette mobilisation est importante pour des espèces colonisatrices adaptées aux conditions de pénurie d'éléments assimilables que présentent les jachères et souvent pourvues d'une rhizosphère active (mycorhizes en particulier), et dans le cas où la fixation d'éléments minéraux est élevée dans le sol ou si l'altération des minéraux primaires est incomplète. Pour cela, il est nécessaire que les racines puissent évoluer sans obstacles en profondeur (cuirasse, niveaux hydromorphes; acides).

Autres effets des groupes fonctionnels végétaux

Ces groupes fonctionnels végétaux ont aussi des impacts variés sur le statut organique, la biologie du sol et la structure du sol. Dans les essais diachroniques factoriels de *Sonkorong* (800 mm, très anthropisé) et de *Sare Yorobana* (1000 mm, peu anthropisé) menés par Masse *et al.* (2000), des jachères courtes (4 ans) ont été suivies; elles intègrent des traitements : protection ou non, culture de longue ou courte durée, avec suppression expérimentale de certains groupes fonctionnels (termites, souches de ligneux) ou enrichissement expérimental d'autres groupes fonctionnels (ligneux fixateurs d'azote comme *Acacia holosericea* inoculés de *Rhizobium*, graminées pérennes repiquées); à court terme et dans tout les cas, il y a peu de variation de matières organiques du sol dans les sols sableux pendant les jachères; les herbacées annuelles produisent une phytomasse racinaire qui entre dans le cycle de la matière organique à rapide taux de renouvellement; elles modifient rapidement les équilibres biologiques, mais elles accroissent surtout les fractions organiques labiles de la matière organique du sol; cela favorise le regarnissage du sol en potassium échangeable et en phosphore assimilable (Diatta & Siband, 1998), en favorisant la mobilisation d'azote, phosphore et potassium par les cultures suivantes.

Les herbacées pérennes accélèrent la reconstitution du potentiel biologique, améliorent les états structuraux (Serpantié & Somé, *op. cit.*, 1998), économisent mieux l'azote (forme ammoniacale, stockage, recyclage), et participent à la mobilisation de bases (en particulier le calcium). Les ligneux locaux qui rejettent de souche créent une immobilisation de matière organique ($3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ en zone nord-soudanienne anthropisée; $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ en zone soudanienne peu anthropisée) exploitable à moyen terme pendant la phase de culture (cendres, bois d'énergie, matière organique fraîche racinaire). Les ligneux locaux exploitent un sol plus profond ce qui réduit l'appauvrissement du sol superficiel (en calcium notamment). Les légumineuses ligneuses à croissance rapide pallient favorablement l'absence de souches de ligneux dans les cultures, mais perturbent fortement la faune du sol et épuisent plus le sol superficiel que les ligneux ordinaires. *Acacia holosericea* améliore la minéralisation de l'azote du sol pour son bénéfice, mais la qualité de sa litière serait une contrainte au recyclage de cet azote, contrainte que ne présenteraient pas les acacias locaux (*Acacia polyacantha*, Harmand & Njiti, 1998); ainsi, la strate ligneuse et les graminées pérennes apportent peu de changements au sol sableux; en revanche, elles mobilisent, dans les biomasses

aériennes et souterraines, énergie et sels minéraux qui seront disponibles à la défriche, et elles réduisent la flore adventice.

Du point de vue du cycle du carbone et de l'azote, *A. gayanus* a fait l'objet d'études en milieu naturel et en laboratoire. À Sobaka (Burkina Faso), Somé *et al.* (2000), au moyen de l'outil isotopique « delta C13 », montrent que l'évolution spatio-temporelle à long terme de renouvellement des stocks organiques dépend de quelques espèces, en particulier de *A. gayanus*. Breman (1982) estime entre deux et dix kilogrammes par hectare et par an le gain net d'azote sous un peuplement naturel de *A. gayanus*. Abaddie *et al.* (2000) discutent des propriétés des touffes de graminées pérennes de jouer efficacement un rôle de capteur d'azote, *via* leur rhizosphère vivace et étendue, de structurer le sol pour optimiser l'activité des bactéries fixatrices, de le recycler efficacement entre saisons, enfin de modifier la forme ionique de l'azote (azote ammoniacal) qui conduit à une meilleure rétention dans le système sol-plante que des annuelles. Ce rôle est mis à profit par les jachères spontanées longues soudaniennes colonisées vers cinq à dix ans par les graminées pérennes ; cet auteur considère que ces graminées, moins exigeantes que les légumineuses en contraintes environnementales, pourraient servir de modèle intéressant ; elles concentrent les ressources dans la touffe, ce qui abaisse leur coût d'exploitation, tant pour *A. gayanus*, que pour d'éventuelles plantes cultivées ultérieures. Par la simple introduction d'espèces végétales en fin de culture, on peut donc aboutir à une forte modification de la dynamique écologique de la jachère.

Les litières et les racines

La production primaire restituée au sol transite par la litière et par le renouvellement et les excréments racinaires.

Les litières

Elles sont faibles dans les jachères-savanes, même arbustives, du fait des feux, des prélèvements de bois mort, de l'activité intense des décomposeurs à toute saison, enfin du pâturage. Elles représentent 1,5 tonne par hectare à 2,7 tonnes par hectare à Sare Yobana, site pourtant le moins anthropisé et le plus humide des études du Sénégal. La litière est cependant pauvre en azote, ce qui limite la contribution de la litière à la recharge organique. Dans la biomasse sèche amenée à tomber sur le sol, les feuilles contiennent quatre à cinq fois plus d'azote que les rameaux, qui contiennent un peu plus que les tiges. À Sare Yorobana, les espèces qui sont les plus riches en azote sont *Combretum glutinosum* (feuilles, rameaux et tiges : 1,48-0,29-0,45 en pourcentage de la biomasse sèche) et *Piliostigma thoningii* (1,55-0,37-0,23) ; la moins riche est *Terminalia macroptera* (1,15-0,18-0,16). Dès lors, certains peuplements monospécifiques n'auront qu'une faible contribution potentielle en cendres et en litière quand d'autres développeront un meilleur pouvoir fertilisant.

La qualité des litières et leur décomposition dans les jachères forestières (naturelles et plantées) a été étudiée par Bernhard-Reversat *et al.* (2000). La vitesse de décomposition de ces litières intervient dans le contrôle du recyclage des éléments minéraux immobilisés par la biomasse. Les critères qui distinguent le mieux de nombreuses litières étudiées sont le carbone soluble, les composés phénoliques solubles, l'azote total, la lignine. Leurs caractéristiques et leur rythme de décomposition diffèrent selon les familles botaniques. Alors que l'on considère souvent que le taux de décomposition est d'abord influencé par l'azote total et la lignine, l'étude a montré que le taux de décomposition varie plutôt avec l'épaisseur du limbe et la teneur en composés phénoliques solubles.

Dynamique racinaire

La teneur du sol en racines varie de un à cent et suit des modes de renouvellement très divers. Sous climat tropical à longue saison sèche, elle varie de 0,3 tonne par hectare (arachide, Chopart, 1980) à 30 tonnes par hectare en forêt tropicale sèche (Delaney *et al.*, 1997) :

Selon Lamotte & Bourlière (1978), les savanes arborées naturelles contiennent l'essentiel des racines sur zéro à trente centimètres soient dix à quinze tonnes par hectare, plus deux tonnes par hectare en dessous. Dans les jachères arbustives à herbacées annuelles de Kolda, la biomasse de racines fines va de 0,6 tonne par hectare sous culture, 1,6 tonne par hectare sous jachère courte, à 3,2 tonnes par hectare sous jachère longue. Les racines grossières des ligneux (plus de 2 mm) s'étagent de 3,4 tonnes par hectare sous culture, 5,8 tonnes par hectare sous jachère courte, à 17 tonnes par hectare sous jachère longue. Sous des jachères à herbacées pérennes en climat sud-soudanien, la teneur en racines fines est très supérieure. Elle atteint 2,6 tonnes par hectare si la jachère est dégradée, et 5,3 tonnes par hectare si elle est mise en défens (César & Coulibaly, 1990 ; Groot *et al.*, 1995).

Transfert de matière organique des racines au sol

Un transfert de matière organique des racines au sol se fait de deux façons : d'une part par exsudation racinaire de glucides photosynthétisés (Perry *et al.*, 1989), qui représente de dix à quarante pour cent de la synthèse totale de la plante, d'autre part par décomposition de la nécromasse racinaire qui se renouvelle annuellement chez les herbacées et aussi en cours de saison des pluies et après défriche et mort des souches pour les ligneux. Menaut & César (1979) donnent, pour les herbacées, des taux de renouvellement annuels de cinquante à cent vingt pour cent. La décomposition des racines est rapide (Manlay, 2000) et elle se poursuit en saison sèche par l'action des termites ; 70-75 p. cent par an) ; la cinétique de décomposition, plus rapide pendant les premiers six mois, indique qu'il existe au sein des racines, quelle que soit leur taille, une fraction plus labile.

Connaissant la faible contribution des litières, brûlées ou consommées rapidement par les décomposeurs, à l'enrichissement du sol, et la forte exploitation des parties aériennes mortes (bois mort, feux), le stockage de carbone et de minéraux passe essentiellement par la production racinaire et par le stockage de racines pérennes, « clé de voûte » d'un écosystème durable (Piéri, 1989). La jachère arbustive répond bien à cette exigence (Manlay *et al.*, 2000).

La remontée organique

Mise en évidence

Bien que l'accumulation de matières organiques du sol ne soit ni un but en soi ni un équivalent de la notion de fertilité, son maintien à un niveau minimal semble une condition de productivité et de durabilité de certains systèmes de culture. L'ajustement du niveau de matières organiques du sol est un des effets et des rôles attendus des longues jachères. En effet, tandis que la culture à faibles restitutions est pourvue généralement de bilans minéraux et organiques négatifs, la jachère, passée son stade initial, est une période de stockage de nutriments dans la végétation aérienne et racinaire, mais aussi de matières organiques du sol et de modification des formes des nutriments dans le sol. Les bilans organique et minéral au niveau sol deviennent en principe positifs.

Les recherches anciennes reconnaissaient unanimement cette propriété des jachères à végétation vigoureuse de stocker dans les horizons superficiels de la matière organique du sol et des sels minéraux issus de la fixation de l'azote, de la pluie ou du sous-sol, mais il existait déjà des nuances. Les jachères dégarnies et surexploitées étaient connues pour avoir un impact négatif identique à celui des cultures (Greenland & Nye, 1959 ; Piéri, 1989 ; Feller, 1995). Greenland & Nye (1959) observaient aussi la réduction du taux de reconstitution de la matière organique du sol avec le temps, une fraction organique instable s'accumulant et minéralisant à mesure, une fois la capacité de protection des argiles dépassée. L'étude synchronique de Areola *et al.* (1982.) sur trois sites au Nigeria (Pluie moyenne = 1 100 à 1 400 mm) observait bien un accroissement du stock de carbone au cours des jachères

longues (partant de 45 p. cent à 55 p. cent du stock d'équilibre du climax jusqu'à 80 à 90 p. cent en fin de jachère), quelle que soit l'écologie, forestier ou savane, mais cet accroissement n'était ni linéaire ni invariable.

Le cas des sols sableux

Des recherches récentes, menées surtout en sols sableux, apportent de nouvelles limites à cette propriété des jachères ; on n'observerait plus d'accroissement significatif de la matière organique du sol sur la culture itinérante en sol sableux (Juo *et al.* 1995 ; Kotto *et al.* 1997) et l'on fait porter l'accent sur les changements biologiques (Dhillion, 2000) et la mobilisation minérale (Manlay, 2000). Les variations de matières organiques du sol, si elles existent, apparaissent secondaires et difficiles à mettre en évidence ; en revanche, d'autres études montrent toujours des accroissements significatifs de carbone, azote et phosphore sous jachère en sols sableux (Badiane, 1993 ; Somé, 1996 ; Manlay & Masse, 1998 ; Masse *et al.*, 1998) mais surtout pendant les premiers stades post-culturaux.

En fait, l'amplitude de variation de la matière organique dans le sol sableux au cours d'un cycle culture-jachère est faible et la variation rapide. Dans ces sols sableux, doués de fortes activités biologiques sous jachères ou sous labours, les fractions organiques grossières dominantes minéralisent rapidement et contribuent fortement à la nutrition minérale des micro-organismes du sol et des plantes (Feller *et al.*, 1993) ; c'est la fraction principale épuisée en période de culture sans restitutions et accrue par un temps de jachère limité ; en revanche, la fraction fine évolue peu, limitée vers le bas (fraction fines très stables liées à l'argile) et surtout vers le haut (faible rétention des matières fines non protégées). Dans les sols à texture argileuse en revanche, les variations absolues de teneur en matières organiques du sol sont beaucoup plus fortes au cours des jachères et concernent majoritairement la fraction fine ; cette dernière contribue alors le plus à la minéralisation (Feller *et al.*, 1993).

En culture itinérante véritable (longues jachères arborées, courtes cultures traditionnelles, cas des systèmes de Sare Yobana en Casamance, figure 4, et cas des anciens systèmes de Bondoukuy-plateau au Burkina Faso), cette amplitude de variation de la matière organique du sol est très faible (Manlay, 2000) : les cultures contiennent encore des souches et des racines qui meurent très progressivement et qui poursuivent leur décomposition (Faye, 2000) ; la matière organique stable du sol baisse peu et la phase jachère n'a pas grand-chose à reconstituer en dehors des fractions grossières qui ne peuvent s'accumuler dans le sol. Les enquêtes synchroniques de Bondoukuy sur les terres résiduelles en culture itinérante sur sols ferrugineux illustrent aussi cet état d'équilibre (Ouattara *et al.*, 1997) ; qui varie avec la texture et le type écologique (savane, forêts).

Les termes du bilan organique dans les jachères. Cas général

• Apports

La contribution aux différentes fractions organiques dépend fortement de la qualité des apports organiques frais, qui représentent la fraction grossière. La matière organique fraîche est composée de sucres, cellulose et lignine, et la teneur en azote est très variable. Sucres et cellulose se décomposent en quelques mois tandis que la lignine a une demi-vie de quelques années. La lignine contribuera fortement au complexe organo-minéral après un transit par des fractions intermédiaires pré-humifiées, processus auquel participent aussi les polysaccharides microbiens.

La persistance de la matière organique apportée est plus forte pour sa composante azotée que pour sa composante carbonique ; elle dépend aussi du rapport carbone/azote de ce substrat et du degré de pré-humification (Bacaye, 1993). En sol sableux, l'azote tend à s'accumuler dans les fractions fines et suggère un processus de minéralisation-réorganisation ; le carbone s'accumule plutôt dans les fractions grossières.

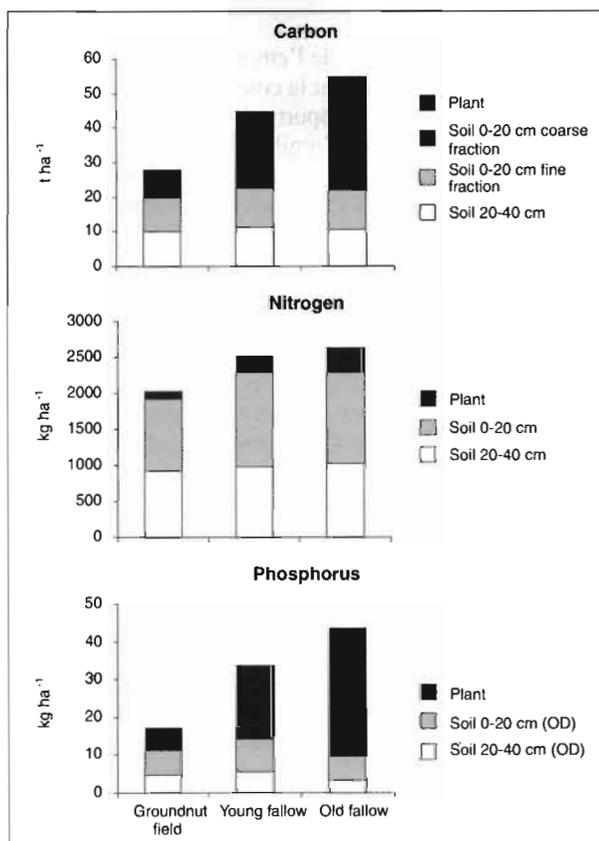


Figure 4. Stockage de carbone, d'azote et de phosphore dans le système sol-plante en culture itinérante sur sols sableux à Sare-Yorobana (Haute-Casamance), au cours des différents stades : cultures, jachères jeunes 0-9 ans, jachères âgées de plus de 9 ans (OD : phosphore assimilable, Olsen-Dabin ; d'après Manlay, 2000).

De ce fait, suivant les types d'apports, les conséquences sont variables pour l'accumulation organique, conséquences mesurables par le taux de persistance du carbone après un an d'enfouissement (coefficient H d'« humification ») : H paille inférieur à H fumier inférieur à H litière inférieur à H racines. Ce taux dépend aussi de la teneur du sol en matières organiques du sol, et de la teneur en azote minéral du milieu (Guiraud *et al.*, 1980 ; Feller *et al.*, 1981). La présence d'azote minéral faciliterait donc la production de composés humiques stables.

Enfin, la synergie compost-urée favorise aussi la croissance des racines et la restitution d'exsudats (Feller *et al.*, 1981). Les essais au champ confirment ces expériences. Pichot *et al.* (1981), à Saria, considèrent que l'humification des apports de fumier dépend fortement de l'azote-engrais apporté ; quant à la restitution de paille non compostée, un apport d'urée ne suffit pas à lui faire participer à la matière organique du sol. Talineau *et al.* (1976), à Abidjan, ainsi que Jones (1971), à Samaru, montrent que quatre ans de culture de graminées fourragères accroissent la matière organique du sol, à condition d'être fortement fertilisées.

- Pertes

Le second terme du bilan est la capacité de l'environnement à conserver et à protéger la matière organique humifiée ; il est mesuré par la constante annuelle de décomposition de la matière organique du sol, en l'absence d'apports. Comme la capacité de protection de la matière organique est limitée par le taux d'argile, passé ce seuil, les pertes s'accroissent quand les apports s'accroissent en confirmant le modèle de Jenny (1950) ⁽¹⁾. Le complexe absorbant est le premier facteur de la protection de la matière organique, mais la faune et la structure jouent aussi un rôle important. La constante annuelle de décomposition K de la matière organique du sol sous culture après forêt vaut 3,3 pour cent, mais 4,5 pour cent après savane. Dans les jachères, elle diminue : 3 pour cent en forêt, 0,9 pour cent en savane sud-soudanienne, 0,8 pour cent en savane nord-soudanienne (Nye & Greenland, 1964). Les sols dont la matière organique se décompose le plus vite sont les sols sableux si la matière organique accumulée a dépassé la capacité de protection des argiles. Le coefficient *k* apparent (c'est-à-dire la perte nette observée) en culture traditionnelle est de 4,7 pour cent en sol sableux, 2 pour cent en sol limono-sableux (Piéri, 1989). Les taux moyen de deux pour cent a été observé à Bondoukuy en sols sableux et limoneux, pendant les dix premières années de culture cumulée après abandon de la culture itinérante ; par la suite, ce taux diminue fortement, particulièrement en sol limoneux (Ouattara *et al.*, 2000 ; Gray, 1997). Les plantes et leur rhizosphère ont la capacité d'agir sur les conditions de la minéralisation, donc sur le facteur K. C'est le cas notamment de *Acacia holocericea* qui accroît fortement la minéralisation de l'azote (Harmand & Njiti, 1998). Il est aussi avéré que dans le sol, en profondeur, les conditions plus argileuses et d'anaérobiose provoquent la diminution de la vitesse de décomposition organique de moins dix pour cent sur vingt à quarante centimètres et de moins vingt pour cent sur quarante à soixante centimètres (Groot *et al.*, 1998.).

Pendant la jachère, les pertes par érosion, et lessivages deviennent en principe négligeables, sauf dans les secteurs semi-arides où l'érosion persiste dans des jachères mal installées ou encore dans les jachères surexploitées et dégradées, où apparaissent des zones nues à la faveur d'années sèches (Charreau & Nicou, 1971). Les termites fourrageurs peuvent aussi développer des encroûtements sur leurs aires de récolte ou lorsque leurs nids s'érodent (Valentin, 1989). Des apports extérieurs par le vent et l'eau peuvent aussi profiter plus aux jachères qu'aux champs, mais ces dernières quantités sont encore mal connues. Il existe en revanche des exportations dans les jachères, par pâturage intensif et par prélèvement, qui peuvent excéder les exportations d'une culture dont les tiges sont brûlées sur place ; par exemple, une récolte de coton paysanne de une tonne par hectare dont les tiges sont brûlées sur place exporte vingt-deux kilogrammes d'azote, dix kilogrammes de phosphore, quatorze kilogrammes de potassium (Crétenet, 1990). Suivant les conditions et la composition floristique, un peuplement herbacé mature contient 0,5 à 4 pour cent d'azote et de 0,05 à 0,4 pour cent de phosphore (Penning de Vries & Djiteye, 1991). Les animaux consomment surtout les organes assez riches en azote. Un prélèvement sans restitution de deux tonnes par hectare de matière sèche exporterait donc vingt kilogrammes d'azote et deux kilogrammes par hectare de phosphore, pour une richesse moyenne prélevée de un pour cent d'azote et 0,1 pour cent de phosphore, en réduisant l'accumulation de matière organique si le milieu est pauvre en légumineuses. Van der Pol (1992) propose des termes de bilan en savane soudanienne,

(1) Le coefficient de décomposition K de la matière organique du sol est la quantité disparue en un an. Selon le modèle de Jenny (1950) : $dC/dt = H * A - K * C$ avec C = MOS, A = apport organique frais, dt = 1 an, H et K supposés constants. Le bilan est équilibré lorsque les restitutions organiques valent $A = KC/H$, ce qui implique que les fortes teneurs sont difficiles à maintenir par de simples apports et que l'on doit aussi réduire K et accroître la qualité des apports. En absence de connaissance sur les apports, on utilise le coefficient de décomposition apparente *k* défini par $dC/dt = -kC$ d'où $C_n/C_0 = (1-k)^n$ et $k \% = 100 * (1 - e^{(\text{Log } C_0 - \text{Log } C_n)/n})$; Piéri (1989).

suisant lesquels une jachère herbeuse à annuelles présente un bilan minéral à peine équilibré, ce qui ne lui permet pas d'accumuler de la matière organique du sol.

La grande dépendance de ce phénomène d'enrichissement vis-à-vis de l'état initial de la jachère nous amènera à nous pencher de plus près sur les termes du bilan organique au cours du cycle culture-jachère.

- L'efficacité de la jachère

L'efficacité de la jachère à accumuler de la matière organique du sol dépend du bilan organique sous jachère : apports (restitutions, transferts, humification) moins pertes (décomposition, minéralisations, érosion, prélèvements). Il dépend des *pools* minéraux assimilables en circulation, non seulement facteur de croissance de la biomasse, mais aussi nécessaire aux micro-organismes de l'humification. Sous forte intensité culturale (C3J2, C10J5), forts prélèvements (pâturage, bois), sols sans capacité de stockage (sols sableux) ou sous faible fertilisation, la jachère est peu efficace et minéralise pour son propre compte le peu de matières organiques fraîches qu'elle restitue. Les jachères de ces systèmes « appauvris » sont donc en principe moins efficaces à modifier le taux de matières organiques du sol, mais peuvent jouer un rôle sur d'autres composantes de la fertilité et aussi capter des transferts organiques (sédimentations, fèces). Sous faible intensité culturale, sous forte fertilisation d'ensemble ou sous faibles prélèvements, un surplus de matière organique du sol existe, dont la persistance dépendra de capacité d'accumulation du milieu (taux d'argile) et des conditions d'humification (taux de lignine restituée, durée de la période de bilan positif, richesse du milieu en azote, humidité...).

- Le statut organique en fin de jachère

Le statut final organique moyen dépendra du bilan organique global, de la durée absolue de la phase de stockage ou de la phase d'appauvrissement, et bien sûr de la texture. Plus le stockage est long sur un milieu minéralement riche et propice à l'humification, plus la matière organique accumulée a des chances de se stabiliser avant d'être mobilisée, en maintenant un niveau moyen haut ; c'est le cas de la culture itinérante et des situations climatiques, et plus particulièrement des situations forestières et argileuses. En sol sableux, de courtes cultures dégradent rapidement la fraction grossière la plus labile qui se reconstitue aussi rapidement sous jachère. Plus le déstockage est long et intense, plus la matière organique relictuelle est stable, et maintient un niveau moyen bas et peu variable, et particulièrement dans les situations sableuses et de savane. Plus le rythme culture-jachère est court, et plus la variation de matière organique contient des fractions grossières labiles.

Rôles des jachères sur les infestations et nuisances

La jachère est une période de réduction des salissements en adventices et de rééquilibrage des faunes antagonistes des plantes cultivées. Cet effet nettoyant est souvent apparu comme le rôle premier de la jachère en milieu tropical humide (Sébillotte, 1985). Avant que les conditions physico-chimiques du sol ne soient déficientes, les paysans remettaient le champ en jachère, en l'absence de moyens efficaces et rapides de contrôle de l'enherbement comme les labours, les sarclages mécanisés ou les herbicides.

Mauvaises herbes

On a vu l'effet des ligneux et graminées pérennes dans l'accélération de la disparition des adventices dans la végétation des jachères. De Rouw (1993) montre, en culture itinérante forestière, la réduction du stock de graines des mauvaises herbes du sol. L'accélération du processus peut se faire de plusieurs façons : soit en accélérant la levée des graines, par exemple par travail du sol, ce qui n'est pas possible en principe pendant les jachères, soit en favorisant la mortalité des graines, par le feu pratiqué autrefois systématiquement par les

Bwaba, tant dans les jachères que dans les résidus de céréales; mais Sebillotte (1985) rappelle que les graines viables peuvent se trouver dans des couches profondes, ce qui donne beaucoup d'importance à la technique de remise en culture. Un labour peut avoir des conséquences néfastes en les remontant en surface. À Bondoukuy, une jachère monospécifique de *A. gayanus* de trois ans, n'a pas eu d'impact sur une cypéacée (Savadogo, 1998) dont les tubercules restent viables de nombreuses années (Le Bourgeois & Merlier, 1995).

Concernant la régulation des nématodes phytoparasites

Concernant la régulation des nématodes phytoparasites, nous renvoyons à la synthèse détaillée de Chotte *et al.* (2000). Les nématodes phytoparasites trouvent dans les jachères naturelles de grandes chances de trouver un hôte (adventice ou plante de jachère) et donc d'être hébergées jusqu'à la culture suivante. Les jachères naturelles introduisent, en revanche, des possibilités de rééquilibrage entre espèces en marginalisant les populations de nématodes dangereux (Netscher, 1985); mais les plantes de jachères étudiées au Sénégal (*Andropogon gayanus*, *Acacia holocericca*) auraient plutôt un effet néfaste, en empêchant la biodiversité « modératrice » de se restaurer (Adiko & Gnonhouiri, 1997).

Bien qu'il n'y ait pas eu d'observation spécifique, notons que les jachères peuvent représenter des niches pour des prédateurs des cultures (rongeurs, oiseaux) et leurs propres prédateurs (serpents), problème potentiel qu'on ne peut ignorer, bien qu'il soit en partie régulé par les activités de petite chasse, très active en saison sèche dans les savanes. En zone forestière, le problème des rongeurs issus des jachères forestières amène les paysans à clore leurs champs par des clôtures anti-rongeurs et à les parsemer de pièges. Les serpents représentent aussi un risque permanent de l'activité paysanne, même si les paysans l'évoquent peu, par tradition.

Rôles des jachères dans l'agrégation et les propriétés hydriques

On sait qu'en sol ferralitique, les oxydes de fer et d'alumine jouent un rôle important dans la stabilité. En sol ferrugineux, ce rôle est secondaire car des colloïdes sont mal réparties ou agrégées. Les phénomènes organo-biologiques jouent dès lors le rôle principal ou un rôle complémentaire suivant les sols.

Morel & Quantin (1972) donnent comme cause de la grande variation de stabilité structurale dans le cycle culture-jachère, la fluctuation de matières fraîches non humifiées; mais plus que les quantités de matières organiques du sol, ce sont les processus biologiques qui jouent un grand rôle car des jachères même très courtes développent rapidement de meilleures structure et stabilité (Talineau *et al.*, 1976; Valentin *et al.*, 1990; Ouattara *et al.*, 1997; Serpantié & Somé, 1998), sans toutefois voir varier dans d'aussi grandes proportions les teneurs organiques, totales ou seulement fraîches. Les jachères participent en fait largement à la ré-agrégation de sols et à la restauration de sa stabilité et de la capacité d'infiltration et d'aération, par travail mécanique de la faune, création de macroporosité tubulaire et différents effets biologiques observées dans un sol au repos et couvert de végétation, dont les structures filamenteuses, exsudations racinaires et produits microbiens. Les très gros agrégats (plus de 2 mm) s'accroissent particulièrement lors des jachères longues et les argiles dispersées tendent à disparaître (Chotte *et al.*, 1997). La stabilité des macro-agrégats de plus de deux cents microns est accrue plus rapidement au cours des jachères (Ouattara *et al.*, 1997); en revanche, ce sont les hyphes, les racines fibreuses et les polysaccharides microbiens qui relient les micro-agrégats de vingt à deux cent cinquante microns entre eux (si ceux-ci préexistent), pour former les macro-agrégats; cette matière organique est efficace à faible dose car elle se place à l'intérieur des pores grossiers (Tisdall, 1996). Les rejets de vers de terre en font aussi partie; ces macro-agrégats, formés au cours de la jachère, se détruisent facilement en cas de travail du sol et d'exposition aux pluies, car leur stabilité n'est liée qu'à une matière organique particulièrement exposée qui s'oxyde vite (Tisdall, *op.cit.*). Les

micro-agrégats se forment par déposition de constituants organiques humifiés et de minéraux fins, eux-mêmes associés par des liaisons cationiques (complexe argilo-humique), autour d'amas de polysaccharides, substances de grande durée de vie (humine microbienne) sécrétées par les colonies de micro-organismes, qui stabilisent ces micro-agrégats et accroissent leur rétention d'eau, et sont protégées en retour par différents moyens (complexes avec des cations polyvalents ou des polyphénols, argile, pores très fins).

Le premier effet des jachères courtes est de conserver la porosité pré-existante dans les horizons de surface, obtenue par les derniers travaux du sol ; en revanche, la porosité des horizons profonds (20-40cm) s'accroît au cours de la jachère ; c'est le cas à Bondoukuy (Burkina Faso) et à Kawera (Cameroun) [Ouattara *et al.*, 2000 ; Pontanier & Roussel, 1998] sur des sols ferrugineux sableux à limono-sableux. Il est aussi remarqué, à partir de quatre ans, un accroissement de l'humidité à la capacité au champ très significatif des horizons de surface, permettant un gain de réserve utile, processus que l'on peut plus relier à la dynamique de l'agrégation qu'à l'accroissement de teneur en matière organique, faible en sols sableux. Toute la question est donc de conserver les macro-agrégats, très précaires après mise en culture, sachant que les micro-agrégats stables se forment plus lentement dans les jachères.

Impacts des feux

Areola *et al.* (1982) ont émis l'hypothèse que la moindre efficacité des savanes par rapport à la forêt dans la remontée de la matière organique du sol en culture itinérante s'expliquait principalement par les prélèvements de matière organique dus aux feux de saison sèche. Au Cameroun, sur vertisols, Pontanier & Roussel (1998) montrent que le feu limite l'action bénéfique des mises en défens. Il joue un effet dépressif sur tous les groupes de faune épigés. Seuls les vers de terre, réfugiés vers vingt-cinq centimètres, ne sont pas sensibles à ce facteur ; en revanche, l'accroissement de carbone organique observé dans des jachères de six ans en sols ferrugineux avoisine vingt-cinq pour cent, avec ou sans feu. Un essai sur les effets de précocité du feu a aussi été mis en place au Mali, sur deux types de sols, et avec ou sans protection (Masse *et al.*, 1998) ; de celui-ci, il apparaît que le feu n'a pas d'action significative sur les paramètres chimiques du sol, en dehors de la fraction grossière de matières organiques du sol (plus de 20 µm), que les feux tardifs réduisent en milieu protégé. Le feu modifie en revanche l'état de surface, réduit la porosité et accroît ruissellement et érosion (Masse *et al.*, 1998 ; Fournier *et al.*, 2000). Le feu joue aussi un rôle très important dans la disparition des adventices. Ces essais suggèrent qu'en savane, la biomasse de la litière pauvre en azote, et souvent brûlée, n'intervient pas dans l'accumulation organique. L'effet du feu est donc indirect : en empêchant le retour des ligneux, il empêche le retour de fonctions particulièrement favorables à la recharge organique.

Conclusion

La remontée biologique de la jachère ne fonctionne idéalement qu'en culture itinérante, car les communautés animales et végétales y sont prêtes à tout moment à recoloniser massivement le terrain, à partir des souches, refuges et banques de graines et de spores du sol. Les réserves de nutriments étant à peine écornés, les conditions sont idéales. Certaines espèces sont spécialisées dans cette recolonisation, comme le suggère la diminution de la diversité biologique dans les vieilles jachères, ce qui peut permettre d'émettre l'hypothèse qu'un cycle régulier culture-jachère ou un espace concerné par une mosaïque de cultures et de jachères entretient une flore adaptée à ce rajeunissement régulier.

En culture de longue durée, une jachère naturelle trop courte ne peut pas présenter la même remontée biologique, tant en diversité qu'en quantité, du fait du faible potentiel végétatif et séminal et, en principe, du faible potentiel nutritif du sol ; cependant, la fertilisa-

tion de la culture peut laisser suffisamment de reliquats pour permettre à des organismes spécialement introduits ou préservés dans le milieu de reconstituer certaines fonctions de fertilité amoindries par la culture ; par la suite, le défi serait de maintenir le mieux possible ces fonctions de fertilité lors de la reprise puis sous culture, et, pourquoi pas, en début de jachère ; c'est ainsi que le terme de gestion du cycle culture-jachère prendrait tout son sens.

La reprise culturale

La défriche, l'essartage et le brûlis

L'étape de la reprise, souvent négligée, est pourtant une des clés de compréhension du fonctionnement du cycle culture-jachère.

La décision

Le choix du champ à défricher n'est évidemment pas neutre puisque tout le système en dépend. Plusieurs travaux ont étudié comment, en fonction d'une situation donnée, on choisit le site (Somé *et al.* 1998). Si de nombreux bio-indicateurs et pédo-indicateurs normatifs sont évoqués en général par les paysans, leur usage varie en réalité en fonction de la disponibilité des jachères ; il dépend, en gros, de la distance au village. De plus, il existe aussi des critères de taille de la parcelle, suivant celle de l'exploitation, et de disposition. Les paysans groupent ainsi souvent leurs essarts pour l'entraide et pour une lutte plus efficace contre les ravageurs, oiseaux ou mammifères, en accroissant le risque d'érosion. On observe de nombreuses jachères anciennes de taille insuffisante pour intéresser un demandeur, reliques qui contribuent pourtant à la mosaïque paysagère et à ses effets particuliers (érosion, réservoirs de bio-diversité).

Les pratiques de défriche

Lors de la défriche d'une formation végétale quelle qu'elle soit, l'agriculteur effectue plusieurs interventions dans le même moment ou successivement : un abattage plus ou moins complet, à une certaine hauteur de coupe. Le dessouchage ou la destruction des souches par le feu dépend des moyens disponibles et de l'utilité de cette action. Le sarclage des touffes de graminées est plus ou moins complet (Lemire Pêcheux *et al.*, 1997). L'essartage (rassemblement des résidus desséchés pour brûlage sur des sites particuliers), un brûlis ainsi qu'un prélèvement de bois pour les besoins ménagers ou d'œuvre, un travail du sol, préparent le terrain pour une culture «de défriche», destinée souvent à une spéculation particulière de tête (sésame, niébé, sorgho, riz, igname suivant les zones). Seuls les systèmes racinaires ligneux sont épargnés, encore qu'en partie seulement (Floret *et al.*, 1993) : ils se maintiennent plusieurs années à partir des souches qui rejettent après chaque recépage puis récolte (Faye, 2000). Avec la mécanisation, surtout motorisée, au matériel très coûteux, le dessouchage est plus fréquent. Certaines souches, à force d'être recépées, finissent par mourir, mais de façon très progressive et variable suivant les espèces. Les jachères, un an sur deux, de Casamance les conservent aussi bien que la culture itinérante (Faye, 2000). Certaines souches sont même stimulées par ces traitements et drageonnent (*Dichrostachys*). Lorsque la souche meurt, la biomasse racinaire est alors condamnée à une décomposition assez rapide que Manlay (2000) a étudié dans la région de Kolda (Haute-Casamance).

Exploitation de la biomasse aérienne ligneuse et biomasse totale potentiellement disponible pour le brûlis

Dans les jachères soudaniennes étudiées à Kolda, la biomasse aérienne ligneuse double entre jeunes et vieilles jachères, passant de dix-huit à quarante et une tonnes par hectare. La biomasse foliaire et raméale se stabilise rapidement à cinq et douze tonnes par hectare au cours de la jachère ; en revanche, la biomasse caulinaires passe de zéro à quinze tonnes par

hectare en cinq ans si les souches sont toujours là ; mais, comme avec le temps les tiges sont de plus en plus utilisables pour le bois de feu ou d'œuvre, l'exportation de bois à la défriche augmente dans les défriches de vieille jachère. En résultat, une vingtaine de tonnes de biomasse ligneuse est disponible pour le brûlage après cinq ans de jachère, du moment que les souches avaient été conservées et entretenues par des jachères courtes dans la culture. Dans le cas contraire (souches progressivement tuées, cas de Bondoukuy), la biomasse ligneuse est très faible à cinq ans de jachère.

À Kolda, la biomasse abondante dans les jeunes jachères (5,8 t) passe à 1,8 tonne par hectare dans les jachères de plus de dix ans. Dans ces conditions, la biomasse aérienne totale disponible pour le brûlage tend à diminuer avec le temps de jachère à partir de cinq ans ; notons néanmoins que ce résultat paradoxal vaut pour un site où la culture de courte durée maintient en état un bon potentiel de régénération ligneux et où le bois est fortement sollicité ; au contraire, les jachères de Bondoukuy viennent après des phases culturales plus longues et concernées par la culture attelée. La régénération ligneuse dépend dès lors surtout de la régénération par semis plus lente ; de plus une grande partie du bois de feu et d'œuvre provient de zones incultes ; enfin, les agriculteurs ne cèdent pas facilement leur bois abattu, même aux femmes, et préfèrent l'utiliser pour l'essartage et le brûlage des souches ; dès lors, la biomasse disponible pour la défriche à Bondoukuy augmente plus fortement avec la durée de jachère qu'à Kolda.

Production de cendres par le brûlis

Suivant la composition de la biomasse potentielle disponible pour le brûlis, la production de cendres varie : certaines espèces comme *Combretum geitonophyllum* contiennent treize pour cent et quinze pour cent de cendres dans leurs feuilles et dans leurs rameaux (moins de 4 cm de diamètre) quand une autre (*Terminalia macroptera*) n'en produit que sept pour cent et dix pour cent. (Kaire, 1999). La quantité de cendres obtenue avec brûlis augmente donc de zéro à six ans de jachère ligneuse ($0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ à $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) pour se stabiliser après ; dans ces cendres, il y a très peu de carbone et d'azote (0,03 p. cent et 0,4 p. cent), ces éléments étant partis en fumée selon les résultats de Stromgaard (1985) ; mais les bases ainsi minéralisées sont immédiatement utilisables par les plantes (potassium, calcium, magnésium) et, dans certains cas de sols acides, la correction de pH qu'elles produisent permet à elle seule la mise en culture (Moreau, 1993). Yemefack & Nounamo (2000), en zone forestière, montrent que les cendres constituent un engrais à effet de chaux qui influence pH, bases, acidité d'échange, rapport carbone/azote, CEC ; mais cet effet neutralisant se résorbe rapidement suite aux récoltes, à l'érosion et au lessivage sous culture et jachère, imposant de courtes périodes culturales.

Devenir de la biomasse racinaire

Le devenir de la biomasse des racines des arbres et arbustes dessouchés a été étudiée à Kolda (Manlay & Masse, 1998) après une jachère de quinze ans. La décomposition des racines est très rapide puisque cinquante pour cent de leur biomasse a disparu en six mois, soixante-quinze pour cent en un an, quatre-vingt-quinze pour cent en deux ans. Le diamètre des racines n'influence la décomposition que lors des six premiers mois (grosses racines plus persistantes), et la cinétique de décomposition ne présente pas de variations saisonnières. En cas de dessouchage, la restitution de matière organique racinaire au milieu est très forte la première année : elle varie de 5,2 tonnes par hectare dans les jachères jeunes à 10,9 tonnes par hectare dans les jachères âgées. Dans le cas de dessouchages progressifs, à force de rabattage des drageons et des repousses ligneuses, de brûlage progressif des souches, c'est donc un apport régulier et souterrain de matière organique décomposée qui est ainsi assuré à l'écosystème cultivé ; mais les racines des herbacées participent aussi à la fourniture

d'azote organique aux cultures suivantes ; cet effet dépend cependant plus de la qualité des résidus que de la quantité apportée (Ibewiro *et al.*, 1998).

Conclusion sur la technique de défriche-brûlis

Le brûlis, qui est pourtant un gaspillage énergétique et minéral immense se justifie pourtant ; d'une part, par la diminution du travail et d'autre part par son effet positif sur le pH du sol et sur la mobilisation rapide des éléments minéraux contenus dans la biomasse. Les apports de matière organique au moment de la défriche se font dès lors principalement par les racines, plus ou moins rapidement suivant l'intensité de la disparition des souches. Un effet qui n'a pas été encore abordé et qui reste à étudier est l'effet sur la répartition des vides : les racines en se décomposant libèrent des conduits qui pourront participer à la porosité globale du sol et à la circulation de l'eau et de l'air. La jachère puis la défriche contribueraient ainsi à accroître la profondeur utile du sol.

Les caractéristiques de la défriche, en particulier dans leur capacité à maintenir ou à éliminer la présence de certaines communautés, organes végétatifs ou séminaux de régénération, et organismes qui jouent un rôle fonctionnel dans la fertilité de l'écosystème cultivé interviennent d'autre part dans cette perspective (Mitja & Puig, 1993). Aweto (2000) met ainsi en exergue les avantages qu'il y aurait à utiliser les résidus organiques des défriches comme *mulch* plutôt que de les brûler, à maintenir les souches vivantes le plus longtemps possible et à accroître la densité du parc arboré dans le dessein de produire plus de bois et de favoriser la régénération.

Premiers rendements

Nous avons vu plus haut que les paysans ne mettent pas n'importe quelle culture en reprise et s'attendent même souvent à de faibles rendements. Les rendements élevés commencent après l'année de défriche, si la culture est bien choisie. Le maïs montre parfois des indices graves de carence nutritionnelle (nanisme) à la reprise derrière une jachère, longue ou courte, et particulièrement derrière *A. gyanus* (Sawadogo, 1998) ; en revanche, le sésame au cours de la défriche de saison humide et le sorgho l'année suivante se comportent souvent très bien. Lorsque *A. gyanus* est mal éradiqué et persiste, on observe que la croissance du sorgho est impossible ; de même, après des jachères semées de graminées (*A. gyanus* et *Panicum maximum*), Diatta *et al.* (2000) montrent que seule l'arachide donne un résultat satisfaisant mais avec un avantage sérieux pour la jachère à annuelles.

Il existe un grand nombre de facteurs de perturbation possibles de la croissance des plantes cultivées après défriche :

- la phytotoxicité déglagée par certains organes végétaux non décomposés (composés phénoliques, Ganry *et al.*, 1978) ;

- la nitrification réduite sous certaines graminées pérennes mal détruites (*Imperata*, Ibewiro *et al.*, 1998 ; *A. gyanus*, Masse *et al.*, 1998) ; Abaddie *et al.* (2000) suggèrent que *A. gyanus* provoque la modification de la forme de l'azote au profit de formes ammoniacales, raréfiant ainsi la forme nitrate de l'azote, au détriment des plantes cultivées ; un délai suffisant devrait être respecté pour revenir à un fonctionnement nitrifiant correct ;

- la défriche-brûlis (apport de racines fraîches et de sels minéraux) stimule la flore microbienne qui peut jouer défavorablement par compétition sur les ressources nutritives (faim d'azote par exemple) ;

- les arbustes de la jachères entraînent eux-mêmes des variations dans les rendements de maïs suivants, si leur litière développe une capacité de minéralisation importante, comme *Milletia thonningii*, ou une faible taux de décomposition (fort rapport carbone/azote, polyphénols), voire une forte compétitivité directe des souches restées vivantes comme *Dialium guineense* (Bohlinger *et al.*, 1998).

La phase culturale dans les systèmes à jachère longue

Dans les systèmes à jachère longue, la phase culturale valorise plus ou moins les états et les fonctions laissés par la jachère, d'une part ; elle produit ses états initiaux, d'autre part. La littérature abonde de données sur l'évolution d'un sol « après mise en culture » (Siband 1974 ; Moreau 1993). Les chercheurs ont le plus souvent étudié cette évolution sur quelques parcelles, non pas à partir d'une défriche de jachère, au sein d'un système culture-jachère, mais à partir d'une formation et d'un sol considéré comme climacique, « naturel ». C'est le plus souvent à partir d'une formation forestière, sur un sol dès lors riche en matières organiques, que cette étude est réalisée. L'objet étudié, la culture longue, n'intervient pourtant qu'exceptionnellement après de telles formations, à l'exception de processus de conquête pionnière avec installation définitive d'un village dans une clairière ou en bordure ; en principe, l'évolution est plus graduelle : culture itinérante, puis culture à jachères.

La matière organique du sol pendant la phase de culture

L'étude de Ouattara *et al.* (1997), sur les cent dix parcelles de Bondoukuy met en évidence qu'en culture itinérante (courtes cultures-longues jachères), la matière organique du sol à l'équilibre dépend du type de sol et des conditions écologiques. Dès lors, on ne pourra étudier cette phase de culture de manière synchronique qu'en utilisant l'origine pédologique, la texture et l'origine écologique (savane ou forêt) comme co-variables ; on disposera ainsi d'un modèle pour estimer l'état initial des terres au moment de l'abandon du système itinérant pour un système permanent ou « à jachères ». Ouattara *et al.* (2000) présentent ainsi l'impact de la durée cumulée de cultures depuis cet abandon sur les pertes en matières organiques du sol ; ils trouvent une variabilité importante ; mais, en moyenne, la perte en matières organiques du sol est importante au départ (2 p. cent par an) puis s'équilibre vers trente ans (à moins 20 p. cent de déficit par rapport à l'équilibre « culture-itinérante » pour les sols limoneux et moins 30 p. cent pour les sols sableux). Il existe certes des valeurs extrêmes qui correspondent aux valeurs de perte organique maximales annoncées dans la littérature (moins 2 p. cent par an, Piéri, 1989), mais il existe aussi des parcelles qui conservent le taux de matière organique « potentiel ». Le labour annuel et profond (tracteur) aggrave ce déstockage (moins 50 p. cent) mais il faut compter sur l'effet de dilution dans un profil cultural approfondi ; le fumier le maintient à moins dix p. cent.

Érosion, monocultures, labours réguliers et profonds, fertilisation azotée (surtout urée, sulfate d'ammoniaque), excessive en regard des apports de matière organique pré-humifiée, et enfouissements de pailles de céréales en sol sableux ont tendance à accroître le taux de pertes de matières organiques du sol ; en revanche, les rotations, une fertilisation minérale équilibrée, les conduites culturales favorables au rendement et, bien sûr, les fumiers le réduiraient généralement (Piéri, 1989).

Évolution des rendements et des contraintes culturales, et pratiques palliatives

Depuis la phase de défriche, lorsque la culture conventionnelle perdure, on remarque, en culture paysanne sur sols ferrugineux, une baisse par paliers des rendements si le système de culture ne s'adapte pas progressivement aux différentes contraintes qui apparaissent (Ruthenberg, 1980). À chaque rupture, le paysan a le choix entre s'adapter ou abandonner en fonction des signaux avant-coureurs (tels que certains bio- ou pédo-indicateurs).

En système céréalier sans engrais

En culture itinérante, la baisse de rendement est généralement brutale vers cinq ans et s'explique par la mauvaise alimentation en azote et en phosphore (et au parasitisme qui lui est associée comme le *Striga* sur variétés sensibles de sorgho ou mil) ainsi que par la perte de la structure (encroûtement, mauvaise aération) qui interviennent ensemble à cette période.

Si des moyens spécifiques sont dès lors mis en œuvre pour prolonger cette phase initiale (labours, rotations avec légumineuses, associations, fumures), c'est l'infestation par les adventices à cycle court, à reprise végétative ou encore à rhizomes (*Digitaria*, *Commelina*, *Imperata*, *Cyperus*) qui limitent la culture à dix ans. Le désherbage chimique, les labours et les sarclages répétés, ou les labours de fin de cycle pour détruire les rhizomes, sont des parades. La déficience potassique interviendrait entre dix et vingt ans après défriche et celle de calcium avec baisse du pH se produirait entre vingt et trente ans (suivant modalités d'apport d'azote et types de sols. La dégradation texturale et structurale aggravée telle que le lessivage et l'érosion des argiles, le profil cultural feuilleté et la semelle de labour (réduction du drainage et de l'aération, tassement, diminution de la réserve utile racinaire) se produisent à cette même période. La parade peut être alors d'associer chaulage, amendements organiques et régénération du profil par labour profond ou sous-solage. Pendant toute cette période, l'érosion et le lessivage se combinent avec les exportations par les cultures pour appauvrir le milieu, et des infestations de ravageurs, comme les nématodes, peuvent aussi se produire en fonction des successions de cultures.

En systèmes de culture fertilisés

Les systèmes de culture fertilisés ont des effets à long terme différents s'ils sont fertilisés au moyen de fumure minérale seule ou organo-minérale. Diatta & Siband (1998) montrent que sur sol récemment défriché, l'apport d'engrais est très efficace pour accroître le rendement mais que des restitutions organiques sont nécessaires pour combattre l'acidification, beaucoup plus rapide que sur sol non fertilisé. Selon Agbenin & Goladi (1998), sur la station de Samaru (savane guinéenne du Nigeria), à partir d'une étude à long terme, une fumure seulement minérale réduit la capacité d'échange en cations, son taux de saturation, le pH et perturbe l'équilibre entre cations. La fumure organo-minérale maintient au mieux les paramètres originels mais réduit fortement l'équilibre magnésium/calcium. Tous les types de culture provoquent la baisse du carbone, de l'azote et du phosphore organiques, mais les fumures organiques et organo-minérales les maintiennent le mieux. Les agrégats ne sont pas plus nombreux avec fumier mais ils ont un diamètre pondéré plus grand. Les pertes de carbone, d'azote et de phosphore organique. les plus fortes se trouvent dans les micro-agrégats entre quarante-cinq et cent μm , qui contiennent donc les fractions organiques les plus minéralisables ou labiles, indépendamment des pratiques de fertilisation.

Certains systèmes de recyclage existent dans les champs mais ne portent que sur de faibles quantités : mauvaises herbes sarclées puis enfouies, racines des plantes cultivées, feuilles et renouvellement racinaire du parc arboré, souches recépées qui meurent peu à peu, résidus de récolte après pâturage et brûlis, fèces. La restitution de matières organique préhumifiées (pailles enfouies, fumiers) améliore nettement la fertilité des sols dégradés (phosphore assimilable, potassium ; Diatta & Siband, 1998), mais il peut arriver que sur des sols plus riches, l'accroissement subit d'activité biologique qui accompagne ces enfouissements provoquent une perte de matières organiques stabilisées (Piéri, 1989).

Processus liés à l'organisation spatiale et aux transferts

Les « agents spatiaux » de l'évolution de la fertilité dans les paysages associant cultures et jachères sont multiples : le vent, les eaux de ruissellement, le bétail et, bien sûr, l'homme dans ses activités de transport et d'aménagements de l'espace agricole.

Le vent

Rajot (2000) souligne les effets du vent dans un terroir sahélien sur le bilan de masse de l'érosion éolienne. L'arrachage est maximal en mai-juin dans les champs sous l'impact des tornades, mais peut aussi se produire dans des jachère qui ont perdu toute leur biomasse

herbacée par pâturage. Les particules les plus grosses s'accumulent préférentiellement dans les jachères, ce qui participe à la régénération de champs sur lesquels s'observent des loupes de déflation (Bouzou Moussa, 2000). Les particules les plus petites sont définitivement exportées de la zones d'étude dès qu'elles sont arrachées, ou se déposent par vent calme ; mais les dépôts sont similaires entre champs et jachères. À l'échelon du terroir, on est très près du seuil de surface de champs relativement aux jachères où le bilan d'érosion éolienne, actuellement excédentaire, devient déficitaire.

L'eau de ruissellement

Sur des parcelles composées de plusieurs états de surface, Fournier *et al.* (2000) montrent la très faible aptitude des jachères mises en défens contre feu et pâturage (*Andropogon gayanus*, *Stylosanthes hamata*) au ruissellement, d'une part, et leur forte capacité d'absorption de ruissellement entrants, d'autre part ; en revanche, les jachères naturelles, surpâturées et soumises au feu en saison sèche, ont un pouvoir de ruissellement élevé et sont peu aptes à l'absorption. La période d'installation des pluies correspond dès lors à une période de sécheresse édaphique pour de nombreuses jachères en pente, tout au moins certaines années. Cette période d'instabilité dans le statut hydrique explique parfois la difficulté de certaines plantes, comme *A. gayanus*, à s'installer avant des annuelles plus résistantes à la sécheresse ; ce résultat pourrait servir à une application, dont il conviendrait d'étudier les termes de faisabilité. Compte tenu de l'intérêt marqué pour *A. gayanus*, et vu l'efficacité de cette plante à absorber un ruissellement localisé, il serait possible d'aménager les versants cultivés de manière à avoir un cinquième de prairie pérenne (non brûlée mais pâturée ou exploitée en fin de saison des pluies), et quatre cinquièmes de cultures pour annuler des dépôts de fertilisants à grande distance (Fournier *et al.*, 2000).

La fumure dans l'espace

Banoin & Achard (1998) et Manlay *et al.* (2000), ont mis en évidence le rôle joué par l'élevage dans la dynamique et la circulation de la matière organique à l'échelon d'un terroir agro-pastoral. En Haute-Casamance, les sources de carbone sont les bas-fonds et les zones périphériques aux terroirs (vieilles jachères, forêts). Au Niger, à Ticko (P = 650 mm, sols sableux), ce sont les jachères qui représentent l'essentiel des ressources fourragères pour le bétail, car les parcours incultes sont fortement dégradés ou seulement ligneux ; étant surpâturées, elles participent peu, directement, à la fertilité des champs cultivés ; en revanche, elles jouent un rôle de source de matières organiques à travers les fèces des animaux, déposés sur dix pour cent de la surface cultivée et sur trente pour cent des surfaces détenues par les agro-éleveurs. Selon Dugué (1999) et Berger *et al.* (1987), la gestion de la fertilité par ces transferts dépend du ratio « unité de bétail tropical par hectare cultivé » (qui devrait être au moins égal à 3) et des capacités de transport.

Le parc agroforestier et les réservoirs de plantes de jachère

Un paramètre qui conditionne directement la phase de culture est, en particulier, la pratique fréquente du parc agroforestier. En dehors du parc à *Faidherbia*, reconnu fertilisant et peu compétitif, la plupart des autres espèces ligneuses conservées dans les champs sont des espèces autant fertilisantes (Sturm, 1998, Young, 1989) mais compétitives, par ombrage et par concurrence racinaire, surtout avec les gros arbres ; elles peuvent aussi réduire les rendements par maintien de conditions malsaines (humidité, insectes, oiseaux). Le bilan organique et minéral est favorisé près de l'arbre (moins de lessivage et d'érosion, plus de litière et de pluviolessivage) et la fertilité s'y accroît significativement avec l'âge des arbres (richesse en matières organiques du sol accrue jusqu'à cinquante pour cent sous des karités (Bilgo *et al.*, 2000), ainsi que sous les nérés (César *et al.*, 2000). On assiste pourtant le plus

souvent à des baisses de cinquante pour cent de rendement dans leur aire d'influence, pour des cultures non fertilisées. Breman & Kessler (1995) trouvent que cette compétition est moindre (20 p. cent) sur sol plus riche et qu'elle est plus forte sur sol pauvre (70 p. cent). De même, les cultures fertilisées ont moins de problèmes (cotonnier, maïs). Tout l'art de l'agriculteur est d'exploiter le premier avantage au moyen de spéculations aptes à répondre à cette fertilité et à tolérer cette compétitivité ; ainsi, l'ombrage des grands nérés de Bondoukuy est exploité traditionnellement pour produire du piment ; en revanche, l'arbre participe directement à la fertilité du milieu par ses propres produits, souvent de très haute valeur sociale (Helmfrid, 1998), par sa capacité à maintenir pendant la culture une niche pour de nombreuses espèces du sol, et de facilitateur pour de nombreuses espèces importantes des jachères ; c'est le cas de *A. gayanus* qui démarre souvent sa colonisation près des arbres et des buissons sur les jachères à sols pauvres. On pourrait associer au parc arboré les pratiques de maintien de bordures ou de touffes de graminées pérennes - réservoirs qui jouent un rôle important dans la succession végétale post-culturale (Devineau & Fournier, 1997) -, et les pratiques de récépage et de destruction des souches et drageons issues des défriches (Faye, 2000).

Le bilan organique du système culture-jachère

Les effets organiques de chaque phase dépendent étroitement de l'état final de la phase précédente. Il convient donc d'aborder finalement le bilan organique à l'échelle du cycle entier pour modéliser le taux moyen de matière organique.

L'équilibre organique

L'approche théorique de l'équilibre organique est difficile, car il faudrait prendre en compte les dynamiques des différentes fractions, encore mal connues. En attendant, les végétations climaciques, cycles culture-jachère réguliers et essais agronomiques de longue durée peuvent nous renseigner de façon empirique sur les équilibres organiques atteints. L'équilibre dépend de l'écosystème, de la pluviométrie moyenne et du taux d'éléments fins qui joue un rôle clé (Feller *et al.*, 1993).

Végétations climaciques

L'existence d'un niveau de carbone équilibré dans une forêt climacique ou dans un climax anthropogénique (la savane) est admise (Areola *et al.*, 1982). Dans l'horizon humifère (0-20 cm) sous forêt claire soudano-guinéenne du Cameroun sur sol ferrugineux lessivé modal ou à concrétions de haut de pente (sous P = 1 400 mm), la teneur est de huit grammes de carbone par kilogramme pour vingt pour cent d'éléments fins, cinq grammes de carbone par kilogramme en savane à graminées sur sol hydromorphe de bas de pente (même texture), et quinze grammes de carbone par kilogramme sur sol de bas-fond à gley à quarante-quatre pour cent d'éléments fins (Brabant, 1991). Les sols des savanes boisées des terres neuves au Sénégal contiennent 3,7 grammes de carbone par kilogramme sur zéro-vingt centimètres pour quatorze pour cent d'éléments fins (Feller & Milleville, 1977). Siband (1974), sous forêt dense sèche de Casamance (P = 1 300 mm), donne une teneur de huit à dix grammes de carbone par kilogramme de sol sur zéro-vingt centimètres (pour 15 p. cent d'éléments fins).

En fait les conditions tropicales chaudes n'impliquent pas nécessairement de plus bas niveaux organiques dans les sols qu'en zone tempérée, à texture et écologies égale. Ainsi en milieu forestier humide, l'humification est très active ce qui compense la plus forte minéralisation et rend les statuts organiques des sols identiques aux sols des forêts tempérées (Sanchez *et al.*, 1989). Il faut cependant plus d'apports organiques qu'en milieu tempéré pour compenser les pertes supérieures du fait de la température : d'où une grande différence en milieu herbacé et cultivé entre les zones climatiques. L'équilibre dépend donc principalement de la texture et du type d'argile, du milieu écologique (forêt, savane, cf fig. 3), du

pédoclimat plus ou moins humide, mais aussi de la richesse du sol en bases et de la structure (Dabin & Maignen, 1979); ces conditions sont défavorables dans les savanes tropicales sableuses et à kaolinite, où s'ajoutent l'érosion, les faibles durées des périodes de croissance, les feux et les termites en saison sèche. L'activité biologique est intense (invertébrés et micro-organismes), d'où un important potentiel de décomposition/minéralisation; cette activité minéralisatrice serait quatre fois plus importante qu'en milieu tempéré (Jenkinson & Aynaba, 1977). Mais les savanes et cultures ont aussi des teneurs en matières organiques mieux réparties dans le profil (effets de dilution par le travail du sol) tandis que les sols forestiers ont un horizon humifère non seulement plus marqué mais aussi moins dense : les quantités totales de matière organique contenues dans les sols forestiers et savanicoles seraient donc moins contrastées (Humbel *et al.*, 1977; cité par Bertrand et Gigou, 2000).

Culture itinérante

La culture itinérante introduit un équilibre à un niveau organique inférieur : soixante-quinze pour cent du niveau climacique (en zone humide) selon Nye & Greenland (1964); cela signifie que les jachères même longues ne remontent pas le taux organique du sol au niveau climacique. Cet équilibre « culture itinérante » a été retrouvé à Bondoukuy (Ouattara *et al.*, 1997) pour deux types d'écosystèmes de jachères : jachère savanicole ou jachère forestière sur sols hydromorphes, sous forme de deux droites de régression sur le graphique croisé carbone-éléments fins [fig. 3]; ces droites d'équilibre sont vérifiées pour des données des savanes et forêts sèches climaciques. De ce fait, il semble qu'en savane, le niveau climacique soit quasiment confondu avec le niveau culture itinérante, contrairement à ce qui se passe en forêt dense; c'est dire l'efficacité de la culture itinérante pour maintenir une teneur élevée en matière organique, et cela, de deux manières : apport de matière organique à fort coefficient d'humification, et protection active de la matière organique accumulée, en particulier par voie chimique, par agrégation et par la faune, au-delà de la capacité de protection des argiles.

Cultures permanentes

Depuis une forêt climacique, la culture manuelle permanente sans restitution, mais aussi les systèmes actuels labourés et fertilisés, conduisent à la chute drastique du taux de matière organique (Siband, 1974; Juo *et al.*, 1995). Différents équilibres peuvent être atteints en culture continue, suivant le régime de restitution organo-minérale. Dans l'essai de longue durée (1960-1990) de Saria (Burkina Faso, P = 800 mm; taux d'éléments fins : 12 p. cent; dans Pichot *et al.*, 1981; Piéri, 1989 : p. 332; Sédogo, 1993; Hien *et al.*, 1994) plusieurs traitements ont été comparés en monoculture de sorgho avec enfouissement de fumier, et d'engrais minéraux. Si l'on admet qu'après quarante ans, des équilibres organiques se sont mis en place, on trouve que l'équilibre atteint en fonction de la dose de fumier est une fonction linéaire dont l'ordonnée à l'origine n'est pas nulle (figure 5); celle-ci (2,3 g C.kg⁻¹) peut être considérée comme la teneur en matières organiques du sol très stable, tandis que l'essentiel de la variation est constituée de matière organique du sol plus ou moins stable qui appartiennent tant aux fractions grossières qu'aux fractions fines.

Les jachères courtes naturelles

Les jachères courtes naturelles (2-5 ans) introduites dans des cultures permanentes longues dont les sols ont atteint un niveau faible de matières organiques du sol produisent des matières organiques grossières en sols sableux, et plus fines en sols argileux, mais labiles (Feller *et al.*, 1993); aussi le niveau organique moyen évolue peu et fluctue seulement à court terme.

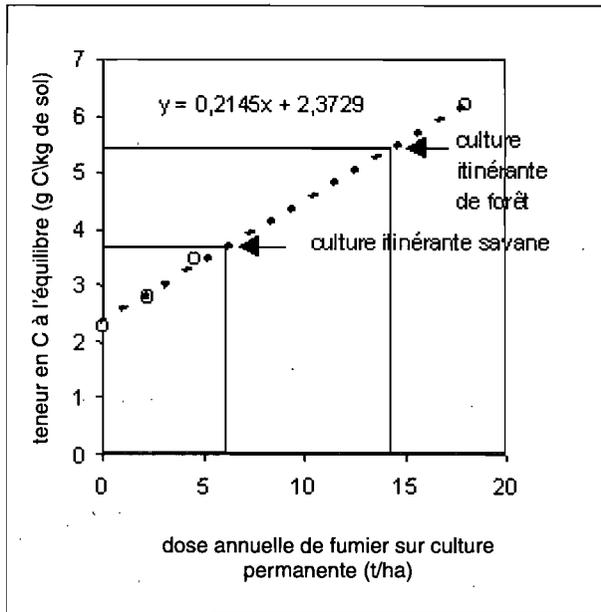


Figure 5. Relation entre niveau d'équilibre à 40 ans et dose de fumier avec références aux niveaux d'équilibre en culture itinérante pour la texture de Saria (Données issues de Pichot, 1981 ; Piéri, 1989., p. 332 ; Sédogo, 1993 ; Hien *et al.*, 1994).

Systèmes de culture à jachères à rotation courte

Les systèmes de culture à jachères à rotation courte sont des systèmes qui alternent des temps courts (quelques années) de culture et de jachère. Les connaissances sur les fractions organiques granulométriques impliquent que pour les sols sableux (dominants dans les régions soudanaises), les cycles fréquents de jachères courtes permettent de maintenir des pools organiques (fractions grossières), biologiques et minéraux à taux de renouvellement rapide (Feller *et al.*, 1993).

Ici, l'amplitude de variation entre fin de culture et fin de jachère peut être faible ou élevée suivant les cas (figure 6). Jones (1971) montre comment des jachères de cycles de faible intensité culturale de trois ans de culture suivies de trois à six ans de jachère à *A. gayanus* (système dit « C3J3 » ou « C3J6 ») peuvent présenter des coefficients annuels considérables, plus quatorze pour cent et plus huit pour cent de carbone par an, et le réduire d'autant pendant les cultures ; en revanche, l'augmentation comme la baisse diminuent d'amplitude en système dégradé à forte intensité culturale « C3J2 » (plus ou moins 3 p. cent). D'une part, dans un tel système, la matière organique racinaire fraîche produite s'accumule sans se stabiliser et apparaît d'autant plus biodégradable en phase de culture qu'elle est plus abondante. D'autre part, une année de jachère accumule d'autant moins de matières organiques du sol que l'intensité culturale a été forte, en relation probablement avec un pool minéral assimilable en circulation amoindrie et avec une moindre production de biomasse sous culture et jachère : le bilan organique sous jachère est nul sous forte intensité culturale, élevé sous faible intensité culturale.

Conclusion sur le bilan organique

On peut dès lors proposer le modèle suivant : pour une texture donnée, tout système culture-jachère régulier se caractérise à son état d'équilibre par un niveau moyen de matières

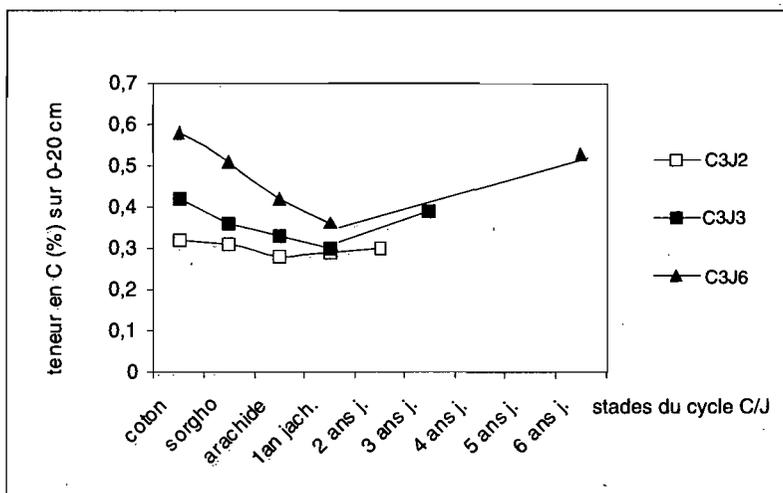


Figure 6. Évolution des teneurs en carbone du sol dans différents cycles cultures-jachère à *Andropogon gayanus* à courte rotation (essais de Samaru, Nigeria; d'après Jones, 1971).

organiques du sol, d'une part, et par une variation de matières organiques du sol entre fin de défriche et fin de la phase initiale de la jachère, d'autre part. Ce qui est stocké par la jachère et la défriche est perdu par la culture, partiellement pour son bénéfice. Cependant l'état d'équilibre est rare; les systèmes de culture sont non seulement divers mais bien souvent en transition. Les études synchroniques actuelles mélangent donc souvent des parcelles qui relèvent en fait de cycles variés ou de transitions, et qui de plus sont concernés par une évolution dans les modes de gestion des jachères. Les principales causes d'évolution, sont, outre le bilan minéral déséquilibré et globalement déficitaire et les modifications de rythmes, l'existence de prélèvements croissants dans les jachères et l'érosion physique et chimique croissante des champs.

Conclusion sur le système culture/jachère

Dans un système stable, les processus de la jachère, ses états successifs, annoncent les pratiques culturales et les états successifs du milieu cultivé et des récoltes obtenues, autant qu'ils en découlent. À Bondoukuy, la destruction progressive et incomplète des ligneux et le maintien des bordures de *A. gayanus* dans les champs, respectivement nécessaires à la culture attelée et à la production de tiges de *Andropogon*, découlent des jachères à graminées pérennes pâturées et à arbustes disséminés par zoochorie par les bovins de trait, autant qu'il les annoncent. L'artificialisation des plantes spontanées utiles pendant la période de culture accélère le retour de la « nature » pendant la jachère (Le mire-Pêcheux *et al.*, 1996). Il est donc inutile de déplorer la destruction des souches ou l'apparition du *Striga* sp. dans les champs, si ces pratiques correspondent à un système donné. Il en est de même des fluctuations de la fertilité, qui, si elles ne sont pas toujours invoquées par les agronomes comme assez contraignantes pour expliquer la mise en jachère, n'en sont pas moins une composante incontournable du système culture-jachères' il est amené à évoluer. En cas d'introduction d'herbicides par exemple, la culture pourra être maintenue plus longtemps, mais la fertilité baissant davantage, le fumier ou l'engrais deviennent nécessaires pour maintenir le rendement alors qu'ils ne l'étaient pas en système itinérant.

L'homme est en fait présent aux deux nœuds du système : défriche et abandon cultural. Lorsqu'il ouvre une défriche, il sait qu'il en repartira et pourquoi. À l'abandon, il sait que lui ou un de ses parents reviendra. Dans cette alternance, savoirs empiriques, techniques et organismes spontanés sont mutuellement adaptés ; c'est pourquoi on peut considérer un système culture-jachère régulier comme générant peu à peu un « agro-climax » particulier ; celui-ci inclut, outre une biocénose, des savoirs et des pratiques particulières sous-tendues par une logique sociale et culturelle ; mais il en existe autant de variantes que de « situations » paysannes ; ce sont ces variantes, regroupées en quelques cas types, que nous aborderons en troisième partie.

Troisième partie : **cas de différents systèmes culture-jachère**

Les systèmes culture-jachère sont non seulement nombreux, mais ils ne peuvent être isolés de leur contexte pédo-climatique et de gestion : non seulement ils répondent en principe à une logique d'ensemble, d'abord sociale (mode d'accès à la terre, densité démographique, système de production), mais aussi ils existent au sein d'un paysage historiquement constitué et d'un système de pratiques culturelles et d'usages, feux, pâturages ou prélèvements, qui ont des répercussions sur les résultats du système de culture. Les cas d'espèce sont donc très nombreux et dans chacun, une analyse spécifique pourrait être faite. Une typologie est pourtant incontournable.

Il convient de faire d'emblée la différence entre trois systèmes, liés à trois pressions sur la terre :

- ceux qui minimisent la phase de culture, nommés *culture itinérante* (intensité culturelle inférieure à 0,33), et dans lesquels la culture courte perturbe seulement un écosystème établi sans le déstabiliser. Le paysan ouvre un champ puis l'abandonne, le désir de retour est collectif (clanique ou villageois) et non individuel ;
- ceux qui donnent aux cultures et aux jachères un poids similaire, l'intensité culturelle variant entre 0,33 et 0,66 (système à jachère) ; les caractères des jachères sont alors éloignés de ceux des milieux initiaux. Il existe des intentions individuelles de retour, ou de transmission à la descendance, suivant les rythmes d'alternance qui peuvent être courts (l'année) ou longs (la dizaine d'année) ;
- ceux qui privilégient la phase de culture (intensité culturelle supérieure à 0,66), au détriment du milieu initial (systèmes permanents), la jachère étant éventuellement pilotée par des introductions ou des protections pour remplir certaines fonctions de fertilité de façon optimale. Dans ce cas, pour Piéri (1989) il est fondamental de distinguer les jachères dégarnies qui viennent sur des milieux appauvris, des jachères pourvues d'une végétation dense et vigoureuse qui viennent sur des milieux encore riches.

Dans chacun des cas, les effets précédents seront abordés, d'une part ; les problèmes liés aux cultures suivantes, d'autre part.

La culture itinérante

Il existe une littérature abondante sur la culture itinérante, caractérisée par une courte période de culture et une longue période de jachère à base de ligneux. Il faut distinguer ici deux contextes principaux, la zone guinéenne humide et les zones soudaniennes, parcourues par le bétail et les feux.

En zone guinéenne

La phase culture est très courte (2-4 ans) et la phase jachère peut être relativement courte (10 ans) si le recrû forestier est puissant. Cette rapidité du recrû dépend principalement du potentiel séminal et végétatif laissé par le mode de défriche et les pratiques culturales (Mitja & Puig, 1993), des herbacées envahissantes introduites par l'homme ou le bétail, comme *Chromolaena odorata*, enfin de l'état de dégradation du sol, qui dépend surtout de la durée de culture sans restitutions, et du travail du sol. En culture itinérante sur brûlis véritable, le sol est peu travaillé et conserve mieux ses caractéristiques de fin de jachère qu'en culture labourée. La teneur en matières organiques du sol diminue de dix à cinquante pour cent pendant la culture pour se rétablir pendant la jachère, généralement en moins de dix ans (Nye & Greenland, 1964; Areola *et al.*, 1982; Laudelout, 1990). En forêt, la reconstitution de la matière organique du sol est rapide les dix premières années car cette période produit un enracinement et une litière très abondante, et l'ambiance humide favorise l'humification. Au Cameroun, *Chromolaena odorata* peut jouer des effets positifs pour la fertilité, malgré sa mauvaise réputation de plante envahissante. Le capital de phosphore ne varie pas entre les deux types de jachères. Par désorption, la jachère à *Chromolaena* restitue le *pool* labile de phosphore, au détriment du *pool* résiduel, selon Tchienkoua & Zech (2000). En comparaison avec une jachère à *Chromolaena*, une augmentation de calcium, de magnésium et de capacité d'échange en cations est observée sous jachère naturelle en zone forestière humide (Koutika *et al.*, 2000); mais si on arrache *Chromolaena*, la disponibilité des éléments chimiques est inférieure, ce qui signifie que cette jachère joue un rôle positif.

En zone de savanes soudaniennes

En savane, la perte de matières organiques du sol sous culture et les gains sous jachère sont plus faibles et plus lents qu'en forêt. La remontée de matières organiques du sol débute rapidement et finit avant dix ans (Jones, 1973; Somé, 1996; Manlay, 2000). Au cours des vieilles jachères, il arrive de constater une stabilisation, voire une très légère diminution, de la matière organique du sol (Somé, 1996; Manlay, 2000), et aussi une baisse des quantités de phosphore assimilable des sols.

Les principaux agents biologiques

Les principaux agents biologiques qui assurent les processus de restauration en culture itinérante sont les plantes pérennes, particulièrement les ligneux. Les éléments nutritifs sont maintenus en circulation autour de l'arbre, *via* la litière. L'immobilisation des sels minéraux dans la biomasse se poursuit après que le niveau d'équilibre organique du sol est atteint (figure 4), raison pour laquelle on ne peut considérer, comme Guillemain (1956), que la fertilité cesse de s'accroître à partir d'un point d'équilibre, car la biomasse obtenue est aussi une composante de fertilité. Sur des sols très acides en forêt humide, Moreau (1993) indique que les parties organiques accumulent quatre-vingt-dix pour cent du *pool* minéral nutritif et dix pour cent seulement se trouvent dans le sol. L'apport de matière organique au sol par exsudats racinaires et renouvellement racinaire serait double, en forêt. La lignine apparaît aussi comme un meilleur précurseur des fractions organiques stables que la cellulose issue des graminées. (Piéri, 1989); effectivement, Manlay *et al.* (1997) montrent que la jachère longue de Kolda, qui relève de la culture itinérante, commence surtout par des rejets de souches dès la fin des cultures; c'est donc la phase initiale, fortement arbustive, qui déclencherait l'amélioration rapide du stock organique. En principe, les jachères à base de ligneux développent particulièrement les fonctions de remontée minérales, de fixation et de recyclage; c'est donc aussi la phase initiale la plus efficace dans la mobilisation des sels minéraux mobilisables (azote et phosphore assimilable) au profit de la végétation.

L'intensité culturelle maximale observée dans ce système itinérant sans intrants et à faible entretien des cultures dépend de l'écologie : 0,33 en zone sèche, 0,25 en zone humide (Piéri, 1989) ; effectivement, lorsque l'on augmente progressivement ces valeurs sans changer de techniques de culture, plusieurs auteurs mesurent des baisses de rendement par paliers, qui suggèrent la traversée de seuils critiques de fertilité (Ruthenberg, 1980, sur maïs ; Rockström, 1997, sur mil). L'adaptation peut passer par des sarclages répétés, un changement variétal, un changement d'espèces cultivées et, bien sûr, par une fertilisation, en particulier par le bétail : on passe dès lors au « système à jachères ».

Le système « à jachères »

Dans la culture itinérante « dégradée », ou système « à jachères », l'intensité culturelle varie de 0,33 à 0,66 (Ruthenberg, 1980) ; à intensité culturelle égale, c'est la durée de chaque phase qui donne un rythme particulier au cycle.

Jachères longues après cultures longues

Les systèmes de jachères longues après cultures longues sont des systèmes cycliques à longue révolution ; on les observe à Bondoukuy lorsque la succession de cultures a pu s'allonger jusqu'à une dizaine d'année sous l'influence d'une culture de rente, par exemple, et pour une pression foncière moyenne, en particulier sur les sols médiocres détenus par les paysans autochtones.

Lorsqu'il subsiste peu de souches en fin de culture longue, les phases à graminées annuelles puis pérennes initient les processus de restauration (Somé, 1996), mais la phase arbustive, reste la plus efficace, selon Nye & Greenland (1964). Par rapport à la jachère à simples graminées pérennes, les biomasses aérienne et souterraine doublent dans les jachères arbustives et triplent et dans les savanes herbacées et arbustives (César & Coulibaly, 1990) ; ce retard de la colonisation par les ligneux est la principale différence par rapport à la culture itinérante et il a des conséquences importantes sur le statut organique moyen du sol. Celui-ci baisse donc fortement par rapport à l'équilibre « culture itinérante », jusqu'à une valeur très proche de celui de la culture permanente ; ce fut le cas sur les enquêtes de Bondoukuy où, malgré le nombre important de situations, il n'a pas été possible de différencier les taux de matière organique entre sites en culture à jachère et sites en culture continue, à durée de culture cumulée depuis la fin de la culture itinérante identique (Ouattara *et al.*, 2000) ; en revanche, un contraste apparaît bien entre fin de cultures et fin de jachères (Ouattara *et al.*, 1997) ; il y a donc un décrochement dès qu'on abandonne la culture itinérante pour un système permanent ou « à jachères ». Les fluctuations de matières organiques du sol dans le système à jachère ne portent donc que sur les matières organiques labiles et ce système réduirait les stocks de matières stables.

Jachères courtes à annuelles après cultures courtes

En cas de forte pression foncière locale (champs de village, proximité d'un terroir de migrants...) ou en cas de réformes foncières limitant explicitement les droits sur les jachères longues (cas du Sénégal), le risque de perdre son accès à la terre conduit à des rotations à plus courte révolution, à intensité culturelle égale ; mais il existe aussi des pratiques habituelles de ce type de système dans certaines régions arachidières. On différenciera systèmes de culture intensifs et extensifs.

Système extensif

À Farakoba (Burkina Faso, 1 100 mm, sols ferrallitiques), un essai installé après une jachère de cinq ans à *A. gayanus*, compare deux systèmes de culture : sorgho permanent et sorgho alternant avec un an de jachère naturelle à annuelles (Kombo, 1999) ; la première

année de reprise, le rendement est excellent : 2,7 tonnes par hectare (avec engrais) ; 1,7 tonne par hectare (sans engrais) ; la baisse des rendements est, en revanche, similaire, entre les traitements avec ou sans jachère, si l'on prend ici encore comme critère de durée le temps cumulé de culture et non le temps total : on observe un plateau à 1,7 tonne par hectare (avec engrais) et 1 tonne (sans engrais) pendant les trois années de culture cumulées suivantes ; ensuite les rendements chutent en culture continue, mais il n'y a pas de données encore disponibles avec jachère ; cet essai devra être poursuivi pour connaître les effets cumulatifs de ce système, qui peuvent être plus importants que les effets à court terme ; notons aussi que l'allélopathie du sorgho est un inconvénient connu de cette culture (Pichot *et al.*, 1981 ; Sene, 1999) et qu'un effet « jachère » éventuel devrait être distingué d'un simple effet « absence d'autoallélopathie » ; Sene (1999) suggère pour cela de semer le sorgho dans les interlignes de l'année précédente.

La gestion de ces jachères est susceptible de jouer un rôle majeur, d'autant plus que le milieu est fortement anthropisé. Au Sénégal, Gillier (1960) a testé différents modes de gestion des jachères herbeuses courtes non pâturées, sur trois sites. Il montre que le mode de gestion (feux, coupes et paillis, coupe et compostage, mise en défens) joue fortement sur les successions végétales : la mise en défens contre le feu profite à *Pennisetum pedicellatum*. De même, c'est ce traitement qui profite le plus à l'arachide suivante, sur les trois sites. On observe un lien entre fort entre durée de la jachère et teneur en potasse des cultures, sur les trois sites, qui suggère que la jachère, bien que sans effet sur l'alimentation azotée, n'est pas sans effet sur l'alimentation potassique.

Système intensif

À Darou (Sénégal, sols ferrugineux et ferralitiques, 900 mm), Charreau & Nicou (1971) ont comparé un système continu et un système C3J2 (3 années de culture, 2 années de jachère) à jachère graminéenne et exploitée, et cent kilogrammes d'engrais complet étant appliqué sur chaque culture. Le système C3J2 permet en apparence de ralentir très fortement la baisse des rendements, surtout pour le sorgho. Si on compare les rendements non pas pour une même durée depuis la défriche, mais pour une même durée cumulée de culture, alors les rendements sont à peine supérieurs en traitement avec jachère. Sur un autre essai à Darou, Piéri, (1989) indique que l'efficacité des engrais (gain de rendement par kilogramme d'engrais) baisse de la même façon quelle que soit la durée des jachères, deux ou six ans.

À Niangoloko (Burkina Faso, sol sableux ferralitique, 9 p. cent d'éléments fins, $P = 1150$ mm), Picasso (1987) compare une rotation C2J2 avec une culture continue C2C2. C2 est une succession arachide-mil avec fumure organique sur arachide. La jachère à annuelles, non exploitée est brûlée avant reprise. En C2C2, on ajoute une forte fumure minérale complète sur chaque mil ($300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; FMO). Il existe un troisième traitement C2C2, à base de maïs-arachide, fumé et fertilisé chaque année (FMO). Les teneurs en matière organique du système FMO et du système fumé à jachère ($3,2$ et $3,6 \text{ g C} \cdot \text{kg}^{-1}$, rapport carbone/azote : 10-11) sont égales à la teneur moyenne en système itinérant de savane calculé pour cette texture (Ouattara *et al.*, 1997), mais le taux de saturation se maintient seulement en système à jachères. Dans le système FMO, le niveau organique chute ($2,6 \text{ g C} \cdot \text{kg}^{-1}$), le taux de saturation et le pH se dégradent, suite à un excès de fertilisation minérale du mil. Les variations de matière organique, à ce pH faible (5 à 5,5), n'apportent pas de variation de capacité d'échange en cations ($0,8 \text{ meq}$ par 100 g). Cinq tonnes par hectare de fumier tous les deux ans ne suffisent pas pour maintenir la fertilité au niveau « savane ». Dans ces conditions, la jachère de deux ans et des amendements calco-magnésiens restent nécessaires. Les rendements s'accroissent en FMO, se maintiennent en apparence dans le système à jachère, mais ont tendance à baisser dans le système FMO, par désaturation forte ($S/\text{CEC} = 43$ p. cent) et acidification (pH 5). On pourrait en conclure à la durabilité du système à jachère ; ce n'est cependant pas tout à fait vrai ; ici encore, si on travaille à durée cumulée de culture égale, les

rendements sont à peine supérieurs dans le système à jachère comparé à FMo. Par exemple, après dix ans de culture cumulée : mil : 5,3 quintaux par hectare avec jachère ; 6,0 quintaux par hectare sous FMo ; arachide : 21 quintaux par hectare avec jachère ; 18 quintaux par hectare sous FMo ; mais l'interprétation est délicate, compte tenu des variations climatiques. Le système à apports intensifs organiques et minéraux, qui voit sa teneur organique maintenue et ses rendements croître, devra surveiller cependant le pH (5,3) et la désaturation (59 p. cent), en particulier en calcium et en magnésium, mal restitués et lixiviés dans ces sols très drainants.

En conclusion, que ce soit en système intensif ou extensif, la jachère qui alterne avec une culture permet, comme une rotation, de résoudre un effet précédent néfaste pour certaines monocultures : arachide (nématodes), ou sorgho inducteur d'allélopathie ; ce sont des jachères de « rupture de monoculture », qui peuvent être remplacées par une autre culture lorsque la pression foncière est forte. De même, si l'on cherche à maintenir la viabilité des souches ligneuses (Faye, 2000) ou à prolonger le stock organique, en complément d'une fumure organo-minérale (et non en substitution), ce système est bien adapté ; mais il n'y a pas changement de milieu, seulement maintien de « fonctions de fertilité » du système de culture. C'est d'ailleurs le même type de résultats que les essais à long terme de Rothamsted (Angleterre) démontrent : les systèmes de culture à prairies de légumineuses ou de graminées intercalées avec des cultures (C3J3) n'enrichissent pas les milieux appauvris et ne maintiennent pas mieux les milieux riches que des cultures continues (Russel, 1973 in Hoefsloot *et al.* 1993) ; seules les prairies de longue durée améliorent la teneur du sol en matières organiques.

On pourrait aussi escompter un effet cumulatif positif, par immobilisation/remobilisation d'éléments minéraux, ceux-ci restant en circulation dans les matières organiques fraîches et à l'abri des pertes ; pour mieux révéler cet effet, il faudrait peut-être conduire les cultures différemment pour mieux adapter l'itinéraire technique aux inconvénients du précédent jachère, par des avances d'azote par exemple. Les courtes jachères jouent cependant d'autres rôles que l'amélioration de la monoculture, en particulier un rôle de réserve foncière, de pâturage de proximité.

La jachère courte naturelle à graminées pérennes

La jachère naturelle à graminées pérennes est précédée d'un stade à graminées annuelles ; la durée de ce dernier dépend de la durée de culture précédente et d'autres facteurs (Serpantié *et al.*, 1999) ; elle est d'environ cinq ans lorsque les cultures valent environ cinq à dix ans. Dans les situations à cultures très courtes, le stade à graminées pérennes débute immédiatement. Dans les paysages à forte intensité culturale, le stade à *A. gayanus* peut disparaître, suite à la raréfaction des semenciers, appauvrissement du sol, sécheresse édaphique et à d'autres facteurs, même après dix ans de jachère (Fournier & Nignan, 1997 ; Serpantié *et al.*, 1999). Les jachères naturelles à graminées pérennes existent donc surtout dans des systèmes à courte rotation et à faible intensité culturale.

Dans la région de Grimari

Dans la région de Grimari (Centrafrique), sous climat soudano-guinéen, Morel & Quantin (1972) observent dans des systèmes à faible intensité culturale, des jachères à graminées pérennes sur sols ferrallitiques moyennement désaturés ; ces auteurs considèrent qu'il faut deux ans de jachère pour améliorer la stabilité structurale, quatre ans pour remonter la matière organique du sol, six ans pour redresser le pH et le taux de saturation.

À la station de Bebedja

À la station de Bebedja (Tchad, sols forestiers riches, sans érosion ni drainage et pH neutre, A + L = 11 p. cent, C environ 0,6 p. cent), quatre systèmes ont été comparés (Richard

& Djoulet, 1985); leur coefficient de décomposition k apparent a été mesuré : culture continue C (coton, fertilisation azotée, $k = 2,6$ p. cent), culture continue en rotation CSCS (coton-sorgho, fertilisation azotée, $k = 2,2$ p. cent) ; CS suivie de deux ans de jachère CSJ2 ($k = 1,1$ p. cent) ; CS suivi de quatre ans de jachères CSJ4 ($k = 0,5$ p. cent) ; à durée de culture cumulée égale, en revanche, la chute du taux de matière organique est exactement la même entre CSCS et CSJJ, soit moins vingt-cinq pour cent après quatorze ans de culture cumulée (valeur calculée) ; elle est de moins dix-neuf pour cent dans le système CSJ4. À la sixième année d'essai, tous les rendements se valent, mais ils ne peuvent être comparés aux rendements suivants, car les systèmes de culture ont évolué avec le temps. On observe à la douzième année de l'essai, les rendements de coton-graine suivants C : 1,4 tonne par hectare ; CS : 2 tonnes par hectare ; CSJ2 : 3,2 tonnes par hectare ; CSJ4 : 3,4 tonnes par hectare. La rotation introduit une première amélioration. Apparemment, la jachère amène aussi une amélioration radicale par rapport à la culture continue, suggérant des effets cumulatifs de dégradation pour cette dernière et d'amélioration pour la jachère. Il est cependant peu acceptable de comparer ces rendements entre eux, pour la raison habituelle : il y a eu douze ans de culture cumulée dans les deux premiers traitements, et seulement six et trois dans les traitements à jachère.

À Samaru

À Samaru (Nigeria), Jones (1971) sur un essai de dix-huit ans sous mille cent millimètres de pluie et sur un sol limono-sableux, a comparé trois successions de trois ans de cultures suivies de plusieurs années de jachères (2, 3 ou 6) semées à *A. gayanus* et enfouies au labour. Les modes d'exploitation de la jachère ne sont pas donnés ; un traitement supplémentaire teste l'effet d'une fertilisation légère des jachères. En moyenne, la matière organique augmente de la fin de la première année de jachère à la fin de la première année de culture, ce décalage étant lié aux processus de croissance et d'humification des racines de la graminée. La teneur en matière organique moyenne varie de 2,4 grammes de carbone par kilogramme (rapport carbone/azote : 11) en système à jachère non fertilisée de deux ans, à 5,5 grammes de carbone par kilogramme (rapport carbone/azote : 12) en système à jachère de six ans fertilisée ; cette gamme de variation correspond bien à la gamme observée sur le terrain entre cultures et jachères dans le contexte des savanes sur sol limono-sableux (Ouattara *et al.*, 1997). La succession à jachère de six ans (C3J6) accroît de soixante pour cent le taux moyen de carbone du sol (à 15 cm) par rapport à C3J2. En moyenne, chaque année de culture fait perdre dix pour cent de carbone au sol et chaque année de jachère en apporte 10,5 pour cent, ce qui dénote des processus organiques intenses de stockage/minéralisation essentiellement liés à de la matière organique jeune. Les coefficients de reconstitution annuels sous jachère sont respectivement de plus 3,3 pour cent (C3J2), plus 14,0 pour cent (C3J3), plus 8,1 pour cent (C3J6), montrant le faible impact d'une jachère trop courte. Dans le système C3J6, l'augmentation de 8,1 pour cent à partir de 0,36 pour cent de carbone correspond à deux tonnes de matières organiques du sol par hectare, ce qui est proche de l'hypothèse de Groot *et al.* (1998) comme production annuelle de matière organique jeune sous *A. gayanus* ; mais il faut croire ici que cette matière s'accumule dans le sol pendant la jachère sans se transformer en matière stable ; cela est confirmé par la minéralisation sous culture : plus les jachères sont longues, plus les coefficients apparents annuels de décomposition sont élevés, moins 6,5 pour cent (C3J2), moins 11,4 pour cent (C3J3), moins 14,9 pour cent (C3J6). Les gains d'azote au sol sous jachère dépendent aussi nettement du temps de jachère (0 pour C3J2, plus 59 kg.an⁻¹ pour C3J3 et plus 24 kg.an⁻¹ pour C3J6) ; les pertes d'azote sous culture correspondent aux gains d'azote de la jachère. Grâce à une fertilisation légère (phosphore et azote), l'azote s'accumule aussi plus dans la jachère (environ plus 30 kg.an⁻¹.ha⁻¹), et cela développe aussi considérablement le stockage final de carbone dans le milieu par rapport aux rotations à jachères non fertilisées : plus quarante-six pour cent (C3J2), plus quarante pour cent

(C3J3), plus trente-quatre pour cent (C3J6), donc particulièrement pour le système à forte intensité culturale C3J2. La fertilisation minérale développe donc nettement l'effet sur la matière organique du sol; au contraire, sans fertilisation, l'azote tend à être immobilisé, conduisant à une faible minéralisation dans les cultures suivantes: quarante-sept pour cent d'azote par hectare et par an en C3J6 non fertilisé contre cent trente-sept kilogrammes par hectare avec fertilisation. Le rapport carbone/azote varie de 11 (3 ans de jachère) à 12,5 (6 ans de jachère et jachères fertilisées). Le gain de matière stable par la jachère la plus longue, estimé par la différence persistant en fin de phase culturale entre situations C3J2 et C3J6, est de plus vingt-quatre pour cent et reste donc faible. La simulation de Groot *et al.* (1998) est donc validée dans ce cas de figure, mais elle devrait intégrer l'impact d'un apport minéral qui change radicalement les coefficients de reconstitution. Les résultats culturaux ne différencient que les systèmes C3J2 et C3J6, et seulement pour la première année en coton: C3J6 est particulièrement avantage sur ce plan (Watson & Goldworthy, 1964).

Conclusion

Si une variation positive de matière organique et d'indicateurs physico-chimiques est observable pendant la jachère (seulement sous faible intensité culturale), cette variation est consommée pendant la culture, au bénéfice seulement des premières cultures. La jachère courte régulière à graminées pérennes ne permet donc pas de maintenir la teneur en matières organiques stables ni d'accroître fortement les rendements moyens. Dans une dynamique de dégradation à partir d'une teneur élevée du sol en matières organiques (défriche forestière par exemple), elle représente seulement une période neutre, sauf lorsqu'elle est particulièrement longue.

La culture quasi-permanente à jachères naturelles d'annuelles

Dans la culture quasi-permanente «à jachères courtes», sous intensité culturale supérieure à 0,66, le parc arboré et la phase herbacée deviennent prépondérants, le feu se raréfie, mais des ligneux buissonnants peuvent cependant être stimulés par ce système: *Guiera senegalensis* au Sahel, *Dichrostachys* sp. en zone soudanienne, *Acacia albida* et le genre *Piliostigma* dans les deux milieux. Ce système dépend de la nature des herbacées et du degré d'intensification de la phase culture.

Dans un paysage de culture permanente, les herbacées pérennes disparaissent dans les jachères courtes si on ne les sème pas. Il faut différencier systèmes extensifs et intensifs.

Systèmes extensifs

Les essais de Sonkorong et de Kolda (Sénégal, P = 800 mm et 1 100 mm, Masse *et al.*, 1998) ont permis de comparer une jachère courte dégarnie après culture longue en zone soudanienne à une jachère de même âge en culture itinérante soudanienne. Le contraste est saisissant; en site soudanien, la biomasse totale, aérienne et souterraine, produite par an est de quatorze tonnes par hectare (45 p. cent de ligneux); à Sokorong, elle est de la moitié environ (30 p. cent de ligneux). La biomasse herbacée passe de deux à huit tonnes par hectare mais répond fortement à la pluviosité de l'année et à la protection. La biomasse racinaire ligneuse (racines de plus de 2 mm) estimée après quatre ans de jachère varie entre quinze tonnes par hectare (Kolda) et trois tonnes par hectare (Sonkorong). Le stockage de matières organiques du sol sur zéro-dix centimètres est de plus quatre pour cent par an à Kolda comme à Sokorong. À Sokorong, le pH eau se relève de 0,2 points, mais le phosphore assimilable et le taux de saturation diminuent suite à la mobilisation biologique. Il existe une plus grande activité microbienne dans les sites soudaniens.

À Sonkorong, la protection agit fortement sur la teneur maximale de racines fines d'herbacées, qui varie entre trois à cinq tonnes par hectare, ce qui représente une production de 4,5 à 9 tonnes par hectare si on prend en compte le renouvellement racinaire en cours de saison des pluies.

À Bambey (Sénégal, sols ferrugineux sableux, P= 600 mm), Charreau & Nicou (1971) ont étudié des jachères naturelles à graminées, pâturées, sur des sols sableux pauvres, de faible durée (2 à 5 ans) ; ils montrent que la contribution des faibles systèmes racinaires est du même ordre que celle apportée par des cultures céréalières ; seul le processus d'appauvrissement dû à la culture est ralenti suite à la forte réduction de l'érosion et aux recyclages par le bétail. Pol (1992) conduit aux mêmes résultats sur les bilans minéraux, en montrant que ceux-ci sont tout juste équilibrés dans ce type de jachères.

À Sobaka (Burkina Faso, P= 900 mm), De Blic & Somé (1997) mettent en évidence une amélioration sensible de la structure du sol au cours des premiers stades de reconstitution des jachères à graminées annuelles (*A. pseudapricus*).

On peut donc conclure à un très faible impact de ce type de jachère, pour ce qui est des processus internes. Si l'impact direct de ces jachères sur le niveau organique est faible, en revanche, les impacts structuraux, sanitaires (rompre une monoculture) et paysagers sont significatifs. La mise en défens développe des effets plus visibles mais n'est souvent pas envisageable dans les terroirs appauvris.

Systèmes intensifs

À Bondoukuy (Burkina Faso, P= 950 mm), Ouattara *et al.* (1997) et Bilgo *et al.* (2000) montrent que, sous différentes jachères herbacées après cultures intensives longues, semées ou non, le sol ferrugineux maintient la porosité qu'il avait auparavant dans l'horizon labouré en fin de culture, mais se restructure ; il peut s'y rencontrer de fortes augmentations de carbone et d'azote en cinq ans (carbone : plus 40 p. cent ; azote : plus 20 p. cent), que l'on peut attribuer, en première hypothèse, surtout aux apports exogènes de matières organiques peu évoluées : feces et sédimentations. Les rares jachères dans les paysages à forte intensité culturale peuvent en effet devenir, suivant leur localisation, des pièges à sédiments hydriques (érosion) et éoliens (feuilles, débris, cendres) et des lieux de parcage privilégiés, qui deviennent des pôles de concentration des matières organiques, issues des cultures, du parc arboré et du bétail.

À Garoua (Cameroun), Boli & Roose (2000), sur des jachères herbacées de deux ans, mettent en évidence sur sol ferrugineux de savane cotonnière la stabilisation et l'aération de sols dégradés par une longue culture permanente ; de ce fait, ruissellement et érosion cessent progressivement, mais le taux de carbone, parvenu à 0,3 pour cent contre 0,7 pour cent sous savane, ne change pas.

En système intensif, les effets structuraux sont significatifs mais les effets organiques sont variables. Des recherches sont en cours sur les effets des modes de gestion de ces jachères (Bilgo *et al.*, 2000) et, en particulier, sur le rôle de la localisation de ces jachères dans le paysage.

Conclusion

Les essais décrits ne sont donc pas convaincants sur le plan de l'effet intrinsèque de restauration de ces jachères courtes après cultures longues, sauf si les jachères, du fait de leur répartition adéquate, captent des apports organiques ou minéraux exogènes et attirent le bétail, comme ce peut être le cas lorsqu'elles se raréfient dans des paysages agraires dominés par les cultures. Les jachères se comportent en principe comme des périodes neutres, qui maintiennent simplement l'état initial, ce qui donne l'illusion de leur utilité à l'échelon de la parcelle ; elles présentent cependant un effet d'amélioration structurale, mais très transitoire.

À durée cumulée de culture égale, les cultures se comportent généralement indifféremment avec ou sans jachère.

En revanche, à l'échelon du paysage, les jachères jouent des rôles essentiels de pâturage, production locale de matériaux et de protection des versants, et permettent indirectement d'accroître les pratiques de fertilisation par parage. Elle peuvent représenter des surfaces d'absorption d'eaux de ruissellements et de leur charge organo-minérale, ayant alors un effet fertilisant local. De même, leurs rôles dans l'exploitation sont bien identifiés : volant foncier, conservation des droits d'accès à la terre, souplesse dans la réalisation de l'assolement, pâturage de proximité. Une meilleure gestion consisterait donc à raisonner leur distribution dans le paysage pour optimiser ces fonctions pastorales, de production de matériaux et anti-érosives.

La culture quasi permanente «à jachères artificielles»

On peut orienter différemment la flore des jachères en introduisant artificiellement des graminées pérennes, des légumineuses et des ligneux. Nye et Greenland (1960) étaient sceptiques sur l'intérêt de telles pratiques, la végétation spontanée s'étant adaptée aux cycles cultures-jachères ancestraux. Pourtant on trouve de telles pratiques d'artificialisation dans certaines agricultures paysannes en milieu très dégradé (Jean, 1975). Dans ces cas le paysan supplée une biodiversité trop pauvre en introduisant des espèces locales ou exotiques qui optimisent certaines fonctions, telles que la mobilisation minérale totale (plantes pérennes), azotée (légumineuses inoculées au rhizobium), phosphorée (*Cajanus cajan*, *Chromolaena odorata*), les fonctions physiques (plantes pérennes), ou des fonctions herbicides (plantes de couverture). Notons que ces introductions peuvent présenter des avantages mais aussi des inconvénients, comme un caractère envahissant (*Chromolaena*, ...) ou un coût élevée de destruction à la reprise comme les herbacées pérennes et ligneux ; d'autout pour la jachère, l'introduction devient contrainte pour la phase culture, d'où un compromis nécessaire (Bertrand et Gigou, *op.cit.*). De plus, il faut savoir si ce «forçage» ne bloque pas certains processus et fonctions de la jachère sur lesquelles on continue à compter.

La jachère installée à *Andropogon gayanus*

Dans les jachères longues suivant des cultures de durée moyenne (10 ans environ), le stade à *A. gayanus* intervient après le stade à graminées annuelles, mais se confond avec le stade arbustif. En introduisant *A. gayanus* dès la fin des cultures, on court-circuite le stade à annuelles peu efficient dans la mobilisation minérale et on isole le stade à pérennes du stade à ligneux ; cette introduction est particulièrement aisée à mettre en œuvre en deux temps, au moyen de la réalisation par semis de lignes semencières dans une dernière culture de type arachide (Serpantié *et al.*, 1999). Une jachère à *A. gayanus* même courte contribue fortement à la restructuration des terres et à la disparition de certaines adventices. À Bondoukuy, il y a rapide disparition des *espèces adventices*, mais maintien des tubercules (Savadogo, 1998).

Wilkinson (1975), sur l'essai de Samaru, évalue la structure par des mesures infiltrométriques : suivant respectivement les systèmes C3J2 et C3J6, le taux d'infiltration est de deux cent quatre-vingt-dix millimètres par heure à cinq cent quatre-vingt-quatre millimètres par heure à la fin des jachères (diff. significative) et de cinquante-huit à quatre-vingt-quatorze millimètres par heure en fin de cultures (diff. non significative). À Bondoukuy, en trois ans de jachère peu pâturée, un sol sablo-limoneux ferrugineux de structure massive continue voit sa structure devenir polyédrique subangulaire et le taux d'agrégats stables de plus de 0,2 millimètres doubler (Serpantié & Somé, 1998). Ces jachères sont ainsi particulièrement aptes à absorber des ruissellements venus de l'amont et à sédimenter leurs charges solides (Fournier *et al.*, 2000). L'amélioration est attribuable ici aux pores tubulaires construits progressivement par les vers de terre (sols limoneux) et termites (sols sableux) mais il faut

aussi compter avec le ralentissement des lames d'eau par les débris végétaux et avec les galeries racinaires. Des racines obliques, épaisses de deux millimètres disparaissent en effet à soixante pour cent en saison sèche en laissant des pores tubulaires grossiers dans le sol.

Cette structure est-elle durable sous culture permanente ? Après défriche d'une jachère de six ans, le premier labour, en détruisant ces pores, réduit l'infiltrabilité à deux cent trente-quatre millimètres par heure et, en fin de la première culture, le taux d'infiltration est réduit à quatre-vingt-dix-sept millimètres par heure ; cinquante-huit millimètres par heure après trois ans (Wilkinson, 1975). Cela indique que le sol n'acquiert des propriétés propices à la circulation rapide de l'eau que tant que la jachère est maintenue. L'essentiel de cette amélioration s'annule au premier labour, signifiant que les propriétés acquises ne sont pas stables. Le défi serait donc de tenter de conserver cette structure exceptionnelle par l'adaptation du système de culture suivant, en particulier selon un modèle sans travail du sol.

En matière de stockage et d'humification de la matière organique du sol, il semble que ce processus soit dépendant du statut de l'azote. Le modèle simplifié de dynamique organique de Groot *et al.* (1998) permet de simuler une évolution du sol sous jachère à *A. gayanus*. Ses incubations expérimentales dans un sol sablo-limoneux montrent qu'il y a peu de différences de vitesse de décomposition suivant les diamètres des racines de cette graminée. Pendant la décomposition de racines de *A. gayanus*, pauvres en azote (7 g.kg^{-1}), après un pic de libération de l'azote, la quantité d'azote libéré diminue, l'azote étant immobilisé au cours de la transformation en « matière jeune ». En saison sèche, soixante pour cent des cinq tonnes par hectare de racines de *A. gayanus* meurent (Groot *et al.*, 1998). Les cinquante pour cent sont décomposés pendant les six mois de saison humide ($1\,000 \text{ mm.an}^{-1}$), laissant cinquante pour cent de « matière jeune ». Il existe aussi des décompositions en cours d'hivernage, de l'ordre de vingt-cinq pour cent des racines présentes en fin d'hivernage (Traoré, 1995).

Selon les recherches sur *A. gayanus* dans son milieu habituel et selon le modèle de De Groot *et al.* (1998), *A. gayanus* apparaît comme une plante susceptible de jouer un rôle supérieur à celui des annuelles, tant en matière de mobilisation minérale et économie d'azote, que de stockage de matières organiques ; plusieurs données expérimentales permettent de porter un jugement sur la validité de cette hypothèse ; on dispose de deux jeux d'expérimentations à forte intensité culturale (0.66) : fréquence élevée, c'est-à-dire C3J2 (Jones, 1971), et fréquence faible, c'est-à-dire longues cultures (15-20 ans) suivies de courtes jachères de 5 ans (Masse *et al.*, 1998 ; Bilgo *et al.*, 2000).

Dans l'essai de Jones (1971), le système C3J2, montre déjà une faible aptitude de la jachère à redresser la teneur du sol en matières organiques (3,3 p. cent par an seulement) pendant la jachère. Les expériences de Bilgo *et al.* (2000), en milieu paysan de quatre ans de jachère de différents types (naturelle ou semée à *A. gayanus*) après vingt ans de cultures sorgho-coton, donnent la même tendance ; en effet, dans la zone de Bondoukuy au Burkina (950 mm de pluie, sols de 30 à 35 pour cent d'éléments fins ; $3,6$ à $4,6 \text{ g C.kg}^{-1}$, rapport carbone/azote de $9,2$ à $9,8$), comparable à Samaru, les essais « N » et « Z » montrent que l'évolution est faible et dépend fortement du mode de gestion. Si la jachère n'est ni brûlée ni pâturée, la teneur du sol en carbone ou en azote après quatre années de *A. gayanus* est inférieure ou égale à celle de la jachère naturelle, suggérant que *A. gayanus* loin d'enrichir le sol avec ses apports considérables de parties aériennes (10 t.ha^{-1} sous mise en défens) et de racines (3 à 5 t.ha^{-1}), tendrait plutôt à l'appauvrir à court terme, relativement à la jachère naturelle ; en revanche, sous pâturage, il y a le plus souvent amélioration du taux de carbone sous *A. gayanus* par rapport à la jachère naturelle (sur 0-20 cm, plus $0,15 \text{ g C.kg}^{-1}.\text{an}^{-1}$ soit plus 4 p. cent par an) avec maintien du taux d'azote, donc accroissement du rapport carbone/azote ; de la matière mal humifiée s'accumule donc dans le sol ; ce qui change entre pâturage et mise en défens est l'existence d'un recyclage, voire d'un transfert, de sels minéraux par les déjections ; l'humification est probablement aussi conditionnée par la quantité d'azote apportée par ces feces. La production de biomasse racinaire elle-même est

favorisée par la fertilisation minérale ; c'est aussi ce qu'indiquent clairement les essais de Jones (1971) ainsi que Groot *et al.* (1998) : « Une culture de *A. gayanus* augmente la matière organique du sol à condition que l'azote, le phosphore et le potassium et des oligo-éléments soient fournis ».

Après *A. gayanus*, sur sols appauvris, on constate à Bondoukuy, plusieurs types de problèmes, en comparaison avec les jachères à annuelles (Savadogo, 1998); il y a, d'une part, la question de la défriche des touffes, lourde à mettre en œuvre; d'autre part, en première année de reprise, les cultures exigeantes, comme le maïs et le cotonnier, ont un faible taux de croissance en raison de déficiences nutritionnelles dues à l'immobilisation d'azote et à d'autres facteurs ; c'est particulièrement le cas lorsque la défriche précède de peu la mise en place des cultures. Le sorgho non fertilisé est moins sensible à ce précédent. Les essais de Bondoukuy donnent, en première année de reprise et en semis tardif : 8,7 quintaux par hectare derrière trois ans de jachère naturelle non exploitée ; 5,8 quintaux par hectare derrière trois ans de *A. gayanus* non exploitée ; il y a bien un effet précédent négatif des jachères à *A. gayanus*, mais seulement légèrement pour le sorgho. Derrière trois ans de légumineuses, les résultats (4,2 qx.ha⁻¹) sont cependant faibles, comparés aux effets habituels de ce type de jachère sur les céréales ; ils indiquent une mauvaise efficacité de la fixation symbiotique. Des légumineuses de couverture, fertilisées en phosphore en tête de rotation ou l'apport d'une forte avance d'azote seraient donc à tester dans ce cas de figure.

Ces résultats rejoignent les difficultés d'interprétation des analyses de carbone et d'azote sur les jachères de Sonkorong et de Sare Yorobana (Masse *et al.*, 1998 ; Ndour *et al.*, 2000). Il y a, d'une part, l'effet direct de la présence d'un peuplement végétal en phase d'installation qui exige, pour son alimentation azotée, la minéralisation d'une grande quantité de matières organiques, car le sol est appauvri, passé la première année de récupérations des reliquats minéraux des cultures et les mécanismes observables dans des savanes naturelles ne sont pas encore en place. Il faut prendre en compte aussi la stimulation de cette activité par l'apport cellulosique et le fort rapport carbone/azote des restitutions, comme ce qui se passe en cas d'enfouissement de pailles de sorgho de fort rapport carbone/azote (Piéri, 1989) : les micro-organismes décomposeurs stimulés par l'apport énergétique minéralisent l'azote des fractions organiques fossiles du sol, faute d'azote disponible dans le substrat ou l'environnement.

Il faut donc admettre que le modèle d'évolution proposé et les coefficients choisis par de Groot *et al.* (1998) ne rendent qu'imparfaitement compte de l'évolution sous jachère à *A. gayanus* en milieu appauvri et fortes intensités culturales.

La capacité de la jachère courte à *A. gayanus* à accumuler des matières organiques semble dépendre finalement de la durée et de la capacité du milieu à fournir des sels minéraux ou des apports externes, même si sa production de biomasse est abondante. À défaut (sols appauvris, jachères non pâturées, jachères non fertilisées), il y aurait faible accumulation de matières organiques du sol et même immobilisation d'azote à la reprise. Les jachères courtes se comporteraient comme des cultures et au mieux maintiendraient les conditions antérieures, comme des jachères à annuelles ; il faudrait donc soit fertiliser ces jachères, soit les prolonger le plus possible. Il faudra plus de cinq ans pour augmenter sensiblement la fraction stable de la matière organique et cela sera limité par la quantité d'azote disponible et bien sûr par la teneur en éléments fins du sol, dans tous les cas.

Les solutions seront donc, soit de contribuer à l'enrichissement minéral sous jachère sous forme d'engrais minéraux, soit de matières organiques à faible rapport carbone/azote, soit par les ruissellements et l'érosion venant de l'amont (Fournier *et al.*, 2000), soit enfin par des apports directs ou indirects d'azote, *via* des légumineuses et le bétail. Une solution à étudier sérieusement pour éviter un apport d'azote minéral sur jachère serait une association *A. gayanus*-légumineuses fertilisée en phosphore dont il faudrait concevoir un mode d'instal-

lation, de gestion fourragère et une organisation spatiale du peuplement (bandes par exemple) aptes à maintenir un accès à la lumière correct pour la légumineuse.

Jachères à légumineuses herbacées

De nombreux essais comme celui de Sani'a (Burkina Faso) montrent que l'arachide en rotation avec des céréales n'enrichit pas le sol en matière organique et ne pallie pas l'absence de fertilisation azotée. L'effet précédent positif de l'arachide sur le sorgho, que l'on observe en culture fertilisée, est attribuée à l'annulation des effets auto-allélopathiques du sorgho en culture continue (Pichot *et al.*, 1981) et non à un effet « azote ». L'exportation des résidus, dans lesquels se trouve l'essentiel de l'azote fixé, explique cette absence d'impact. Une recherche sur le niébé en rotation avec le sorgho est en cours à Farakoba, pour vérifier cette absence d'impact chez toutes les légumineuses cultivées. Selon Groot *et al.* (1998), les espèces qui favorisent une accumulation de matières organiques du sol ont une biomasse racinaire élevée et à bonne teneur en azote; ce serait le cas des racines de niébé et de *Stylosanthes hamata* (4 t.ha⁻¹; rapport carbone/azote de 33; 1,5 p. cent d'azote) qui ne montrent pas d'immobilisation d'azote au cours de leur décomposition expérimentale.

Dans des jachères de légumineuses, les restitutions de parties aériennes au sol peuvent être accrues; mais compte tenu de leur intérêt pour la fourniture en protéines alimentaires pour l'élevage soudanien, particulièrement déficient, ces jachères de légumineuses ont peu de chance d'exister en dehors d'une intégration au système d'élevage (Hoefsloot *et al.*, 1993). S'il est intéressant d'en étudier le principe comme sole de repos, il convient surtout de les étudier dans le contexte particulier de la « sole fourragère ».

Jachères non exploitées ou « soles de repos »

La fixation d'azote a été étudiée sur des légumineuses fourragères des jachères (Dreyfus *et al.*, 1998) : *Tephrosia purpurea*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Alysicarpus glumaceus*; elles ont été exploitées en cultures pures pendant deux ans après des jachères naturelle de cinq ans, en milieu peu anthropisé (Casamance), avec deux traitements : avec inoculation de souches efficaces, et sans inoculation. L'évaluation de la teneur en azote du sol montre que celle-ci peut passer du simple au triple après deux années de culture de *Alysicarpus glumaceus*; ces résultats militent pour l'exploitation des légumineuses locales, adaptées à la microflore du sol, dans des jachères de repos; il y aurait en tout cas profit à les comparer à des plantes de couverture de type *Mucuna* ou *Pueraria*. Les souches natives de *Rhizobium* du sol apparaissent autant, sinon plus, efficaces que les souches introduites; en revanche, l'inoculation des espèces introduites, comme *Lablab* (dolique) permet d'obtenir, dans les associations maïs-dolique, une efficacité de la fixation telle que la fertilisation azotée du maïs devient inutile. La symbiose ne consisterait pas seulement en fixation mais aussi en meilleure alimentation minérale du maïs.

Les essais de Lal *et al.* (1979) d'Ibadan (P = 1250 mm en 2 saisons), sur sol ferrugineux, ont montré qu'en deux ans, des cultures de graminées ou de légumineuses (dites « plantes de couverture »), ni fumées, ni exploitées, ni enfouies, augmentaient toutes en moyenne de vingt-quatre pour cent de carbone et de trente-trois pour cent d'azote sur l'horizon zéro-dix centimètres (soit plus 2 t C.ha⁻¹ et plus 580 kg N.ha⁻¹) contre plus trois pour cent de carbone et plus six pour cent d'azote en jachère naturelle, graminées et légumineuses contribuant autant, tant vis-à-vis du carbone que de l'azote; cet enrichissement s'accompagnait de celle de la capacité d'échange en cations (plus 36 p. cent), de plus 2,3 meq par 100 grammes; en revanche, les graminées accroîtraient la capacité d'échange en cations moins que les légumineuses (plus 28 p. cent contre plus 42 p. cent); cette efficacité d'enrichissement correspond aux résultats de Jones (1971) pour des systèmes à *A. gayanus* à faible intensité culturale et indiquerait donc un milieu riche, propre à favoriser l'accumulation de matière jeune; en

revanche, on a du mal à expliquer la faible efficacité de la jachère naturelle, à moins qu'elle ait été exploitée contrairement aux plantes de couverture.

Au Nord de la Côte-d'Ivoire, Sement (1983) a comparé des systèmes de culture continue (cotonnier-céréale-légumineuse) avec un système C3J2 comportant une jachère « améliorée », à base de *Stylosanthes guyanensis* ; il apparaît une réduction du paramètre de décomposition apparent k : 2 pour cent en culture continue contre 0,4 pour cent en culture à sole de repos.

Dans les essais de Bondoukuy (sols sablo-limoneux), où l'on compare différents types de jachères de trois ans, après une culture continue de vingt ans, les jachères non fertilisées à légumineuses, bien que productives, n'offrent pas d'amélioration plus sensibles de la matière organique ni des rendements suivants que les jachères à *A. gayanus* (Savadogo, 1998). Dans d'autres sites de Bondoukuy et d'ailleurs (sols sableux), l'amélioration des rendements après jachère à légumineuses non exploitée est cependant fréquemment observée (Hien *et al.*, 1994 ; Segda *et al.*, 1996).

Finalement, les essais de sole de repos, quand ils sont conduits sur des milieux favorables aux légumineuses, permettent d'observer des modifications importantes de l'azote organique et des rendements suivants.

Jachères pâturées

La synthèse de Hoeflsoot *et al.* (1993) traite particulièrement du cas des jachères améliorées (*Stylosanthes hamata*) pâturées ; il s'agit principalement de *fodder-banks* ou soles fourragères semées de *Stylosanthes guianensis* (sous P = 1 400 mm) ou *Stylosanthes hamata* (sous P = 1 100 mm), destinées à intensifier l'élevage ou à pallier le dysfonctionnement des pâturages de jachères naturelles (surpâturages) ; elles sont pâturées pendant trois ans puis remises en culture de maïs avant que les graminées envahissent le terrain (essais Cipea au Nigeria, Tarawali, 1991 ; essais D.R.S.P.R., Mali ; D.R.S.P.R., 1992). Les expériences de l'Orstom (Talineau *et al.*, 1976) à Adiopodoumé, en conditions très fertilisées et soumises à un climat trop humide, sont citées mais ne sont pas comparables aux soles fourragères non fertilisées (en dehors du phosphatage de fond) en zone guinéenne ou soudanienne.

Au Nigeria, les productions moyennes de fourrages varient entre six et huit tonnes par hectare. Le pâturage s'effectue en saison sèche (5 U.B.T.ha⁻¹, 2-3 h.jour⁻¹). Après trois ou quatre ans de jachère (fourragère ou son témoin, une jachère naturelle), du maïs est cultivé, fertilisé abondamment (60 unités de phosphore, 60 unités de potassium, 120 unités d'azote). Après jachère naturelle, le rendement du premier maïs varie linéairement avec la dose d'azote ; en revanche, après jachère fourragère, le rendement est supérieur (de 1 à 2 t.ha⁻¹ !) mais l'effet de l'engrais azoté est limité au-delà de soixante unités d'azote, sauf dans une parcelle envahie par des graminées, qui avait réduit l'azote disponible, se comportant comme après une jachère naturelle. Avec quarante-cinq unités d'azote de plus, la culture après jachère naturelle produit autant que derrière jachère fourragère. L'année suivante, existe un léger effet résiduel qui avantage le maïs sur ancienne sole fourragère. Il n'y a, en revanche, aucun effet résiduel de l'engrais appliqué l'année précédente.

Au Mali, le pâturage est protégé en hivernage par les cultures et commence en octobre. *Stylosanthes hamata* donne une bonne couverture qui se maintient sous pâturage ; en revanche, les autres espèces testées (graminées exotiques *Brachiaria ruziziensis*, *Panicum maximum*, *Cenchrus ciliaris*, et petites légumineuses *Macroptilium atropurpureum*, *Clitoria ternatea*) ne se sont pas maintenues en dehors des parcelles clôturées, sauf dans la zone la plus humide de Sikasso ; mais la teneur en azote des fourrages est supérieure en zone sèche. Le *Stylosanthes* est deux fois plus riche en azote (1,9 à 2,3 d'azote pour 100 g de matière sèche) que les graminées ou que la végétation naturelle (0,8 à 1,7 p. cent de matière sèche) ; après trois ans, le pH est relevé d'un demi-point, le phosphore assimilable, l'azote organique ainsi que la capacité d'échange en cations ont augmenté ; le carbone organique n'a augmenté

que dans la zone la plus humide (Sikasso), ailleurs il a diminué. L'effet des soles fourragères sur le rendement de sorgho a été supérieure à l'effet des jachères naturelles, mais c'est avec clôture que les effets ont été les plus élevés (plus 33 à 50 p. cent).

En Côte-d'Ivoire, Talineau *et al.* (1976) concluent que sous exploitation intensive, la sole fourragère cultivée épuise le milieu, plus intensément qu'une culture de maïs cultivée dans les mêmes conditions ; cet épuisement est d'ordre strictement minéral et il est donc corrigé si la sole fourragère est fertilisée ; mais même dans ce cas, les arrières-effets n'atteignent pas la troisième campagne. Les légumineuses fortement fertilisées en phosphore et bases ont quant à elles laissé de larges quantités d'azote ($100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour deux ans).

Haque & Jutsi (1984) estiment les apports d'azote entre quarante et cent kilogrammes d'azote par an, libéré essentiellement la première année ; en deuxième année, les effets résiduels équivalent à quinze à trente kilogrammes d'azote ; en troisième année, les arrières-effets sont estimés à six kilogrammes d'azote ; cet azote proviendrait de la minéralisation des matières organiques fraîches ajoutées au sol les deux dernières années de la jachère, ce qui ne justifie pas des soles fourragères plus longues que trois ans (McCown *et al.*, 1988). L'efficacité de la jachère à fournir de l'azote est moins due à sa durée qu'à sa pureté (les graminées qui envahissent la sole réduisent cet efficacité) et à la bonne alimentation minérale (phosphore, et bases).

Le mode de gestion de la sole fourragère joue aussi un rôle important : lorsque le foin est coupé en vert, il n'y a pas d'impact sur le sol ni sur les graminées éventuellement associées ; en revanche, les chutes de feuilles et surtout le piétinement de la légumineuse assurent le transfert de l'azote au sol ou aux graminées associées ; ce transfert représente environ les deux-tiers de l'azote contenu dans les plantes (Vallis & Gardener, 1984), soit vingt-cinq à quarante kilogrammes d'azote par hectare et par an et conduit à l'accroissement de l'azote organique du sol ; les animaux en restituent directement vingt-quatre pour cent au sol ; mais selon les conditions de pâture, les additions d'azote sont très variables, entre zéro et cent kilogrammes par hectare et par an ; c'est du recyclage des sels minéraux *via* les fèces et des apports de fertilisants dont dépendra le bilan minéral total.

Un « effet suivant » est à signaler entre maïs et sorgho : une étude du Cipea (1992) a montré que le maïs répond parfois mieux que le sorgho au précédent jachère fourragère, en triplant généralement son rendement quand le sorgho ne fait que le doubler.

Conclusion

Une sole fourragère de légumineuses correctement fertilisée en phosphore, exploitée seulement en saison sèche peut contribuer à la fourniture en azote de deux années de culture, et à condition que les cations et certains micro-éléments (soufre, cuivre) ne soient pas limitants. Les contributions au stock organique sont du même ordre que les graminées. C'est en jumelant l'effet de complément alimentaire pour des animaux et l'effet sur la fertilité que la jachère fourragère peut se révéler la plus appropriée dans les situations d'intensification.

La jachère plantée à base de ligneux

Il existe des ligneux à croissance rapide utilisés pour des jachères courtes améliorées, qui enthousiasment les paysans de Zambie, sur des sols généralement plus riches qu'en Afrique de l'Ouest ; c'est le cas de *Sesbania sesban* et de *Cajanus cajan*, avec des résultats cependant souvent contradictoires, ce qui pourrait, comme pour les herbacées, dépendre fortement des facteurs limitants : *Cajanus* en particulier est considéré comme une plante ayant la capacité de mobiliser le phosphore fixé.

Les travaux de Harmand & Njiti (1998) sur des jachères forestières plantée à l'aide de différentes espèces montre que durant les cinq ans, l'augmentation forte du carbone souterrain est due aux systèmes racinaires. Après remise en culture, les racines se décomposent

sous l'effet des termites. Après quatre ans, seul *Acacia polyacantha*, une espèce locale fixatrice d'azote augmente le carbone du sol et diminue le rapport carbone/azote, grâce à une litière riche en azote et aux processus de fragmentation-décomposition sous litière. Les espèces arborées fixatrices d'azote (*Acacia*, *Prosopis*, *Leucaena*, *Albizia*) augmentent les *pools* actifs de la matière organique et le statut de l'azote. Les effets résiduels se maintiennent de deux à quatre ans. Les arbres sont supérieurs aux herbacées pour la mobilisation du phosphore et la remontée des bases du sous-sol.

D'autres espèces paraissent jouer un rôle parfois supérieur, mais les effets sont très souvent variables et contradictoires. Les arbres à croissance rapide comme *Acacia holosericea*, à l'enracinement superficiel, immobilisent une grande part des éléments du sol, en accroissant la minéralisation et de ce fait réduisent un peu la matière organique du sol au profit de la biomasse épigée. La faune est profondément remaniée. En reprise, les rendements sont accrus.

L'essentiel de l'intérêt de ces jachères à base de ligneux à croissance rapide réside dans la production de bois. Une réflexion doit être cependant menée sur la durabilité de ce système : combien de cycles de production l'horizon supérieur très sollicité pourra-t-il subir sans appauvrir ses stocks de minéraux mobilisables ?

Vers des systèmes de culture qui combinent des agents fixateurs, de protection et de recyclage

On peut donc imaginer, pour éviter tant une mise en jachère trop longue qu'une escalade dans les moyens appliqués pour maintenir la production, des systèmes plus complexes à mettre en œuvre ; ils maintiendraient les conditions générales pendant toute la période culturale, en protégeant les fonctions de fertilité mises en évidence dans l'étude des formations naturelles et des jachères : systèmes recycleurs, systèmes fixateurs et mobilisateurs, systèmes protecteurs, systèmes structurants. Le cas de l'*alley-cropping* est connu pour avoir tenté une telle démarche ; de nombreux espoirs étaient fondés sur lui ; néanmoins le taux d'adoption est faible (Bernard *et al.*, 1998). La compétition entre haies et cultures et le coût en travail de gestion était décourageant ; mais il est de plus en plus clair que ce système ne peut fonctionner durablement qu'avec une fumure minérale additionnelle car la haie et les émondes immobilisent trop les éléments assimilables du sol (Kallon *et al.*, 1998) et le système exige donc, pour fonctionner, une plus forte quantité de minéraux circulants. Des recherches participatives ont de même amélioré le système dans sa géométrie ; on se dirige plus vers des systèmes en blocs ou « en clôture » pour limiter les compétitions entre plante cultivée et ligneux d'engrais vert dont les plus pratiques et les plus efficaces pour accroître la teneur du sol en azote sont *Senna siamea*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* (Kombiok *et al.*, 1998 ; Wezel & Böker, 1999). On associe aussi les émondes avec de l'engrais minéral. De nombreux essais se consacrent maintenant aux associations cultures-arbustes spontanés et à leur mode de gestion optimal.

Le cas des plantes de couverture et des *mulchs*, destinés à remettre des sols dégradés en production, très prometteurs (Azontonde *et al.*, 1998) mais tout aussi difficiles à mettre en œuvre est traité dans la synthèse de Hien *et al.* (2000). Comme dans le cas des défriches suivies de *mulch* (Thurston, 1997), des jachères artificielles pourraient représenter une phase de préparation pour ces systèmes nouveaux.

Conclusion générale

Bien que très dépendante du contexte technique, la fertilité n'est plus l'affaire des seuls spécialistes agronomes et scientifiques du sol. Les critères de coûts et de durabilité contenus dans le concept de fertilité renvoient de plus en plus à des recherches qui concernent de multiples spécialités, tant sur la biologie des systèmes sol-plantes évolutifs et multi-étagés que sur l'économie de l'environnement.

Les rôles des jachères en matière de fertilité sont loin d'être obsolètes en cette période où de nombreuses régions agricoles et paysans sont privées d'intrants, mais ont su conserver suffisamment d'espace, parfois sur des milieux marginaux ; mais il peut exister aussi une dégradation écologique des jachères, telle qu'il existe un seuil de fonctionnement en dessous de laquelle la jachère naturelle serait une pratique efficace, et au-dessus duquel elle ne se justifierait plus, à moins d'être gérée et améliorée (Manlay, 1994).

Certains rôles des jachères sont bien connus, en particulier le rôle de nettoyage des adventices et de rééquilibrage des faunes antagonistes. Certains processus attendaient d'être mieux compris : faune des sols et microflores, mobilisation/restitutions minérales, nuisances, érosion, affouragement du bétail de fumure, rôle dans l'exploitation agricole. Le rôle de la jachère sur la matière organique est aussi éclairci : seules de très longues jachères savent produire, et reconstituer si les conditions de fertilité minérale et de texture le permettent, un humus stable, capable de rapprocher le sol d'une teneur organique « de durabilité ». Comme elles sont à présent exclues, faute de terres à geler, les jachères courtes sont seules possibles ; mais elle ne contribuent qu'à fournir des matières organiques fraîches, vite minéralisées, aux effets fugaces et qu'à pallier aux inconvénients des monocultures ; en revanche, en matière de ressources fourragères, de matières premières et vis-à-vis de l'érosion et de la gestion des assollements, elles ont parfaitement leur place, et leur artificialisation ou seulement leur raisonnement peut très bien accroître ces effets. Présentant un effet structural (graminées) et d'enrichissement en azote (légumineuses) elles pourraient servir de marche-pied pour de nouveaux systèmes « exotiques », comme les cultures en semis-direct.

L'effet des ligneux est le principal effet recherché dans les jachères des sols sableux, qui ne peuvent stocker de matière organique, tant à travers le brûlis qu'à travers la minéralisation des racines d'arbres : c'est pourquoi une exploitation des ligneux à croissance rapide devrait rester prudente, pour ne pas risquer d'épuiser des sols déjà usés. Faute d'espace, faute d'intérêt pour des jachères courtes si les parcours d'élevage sont suffisants, un parc agro-forestier et un apport de matières organiques pré-humifiées par épandage régulier, est dès lors préférable, pour éviter les à-coups et les délais d'un système à jachère.

Avec le surpâturage et l'excès de prélèvements, et surtout l'épuisement minéral préoccupant des terres, les jachères courtes, même « améliorées » par des légumineuses ou des graminées pérennes, sont aussi moins efficaces à remplir leurs rôles, et peuvent avoir des impacts négatifs ressemblant à ceux des cultures. Le paradoxe est que dans ces conditions, la fertilisation minérale des pâturages et des jachères devient souhaitable pour que leur exploitation n'ait pas de conséquences plus graves sur le milieu. C'est le mode de gestion (fertilisations, enrichissements ou cultures fourragères, adaptation de la charge animale, durée) qui optimisera l'efficacité globale de la jachère à produire matières premières et fertilité, en fonction des intérêts du système de production dans son environnement ; mais comment comparer la gestion de la fertilité dans des espaces aussi différents qu'une zone de jardins au Kenya à dix habitants par hectare et qu'une zone cotonnière saturée burkinabè où l'on observe au maximum deux habitants par hectare ? Outre les différences pédo-climatiques, il y a d'autres différences, relatives au système de production, au type de marché, aux activités connexes.

Le fait de chercher à améliorer la jachère n'est donc pas une nécessité absolue dans de nombreux cas, et les paysans pourraient considérer de telles pratiques comme un luxe. En réalité, cela dépend des rôles que le système de production assigne à la jachère. Dans le cas des jachères courtes, nous avons surtout observé un rôle foncier, pastoral, ressources en bois et paille et plantes sauvages utiles, érosion, et de gestion de monocultures. Ce sont dans ces directions que l'on pourrait le mieux progresser en « manipulant » les jachères.

Nous pourrions clore cette approche par une parabole : il existe sans les savanes africaines deux types fondamentaux de plantes qui servent de ressources à l'homme : les plantes ultra-domestiquées, comme le maïs et le cotonnier, et les plantes spontanées, utilisées et même parfois cultivées (karité, *A. gyanus*).

Le maïs est sélectionné pour sa spécialité : produire l'alimentation de l'homme rapidement en saison humide ; en revanche, il n'a aucune compétitivité sur les plantes sauvages et il réclame un sol forestier ou une fumure organo-minérale forte, du travail et souvent de l'argent pour pousser correctement. Les plantes spontanées sont adaptées à produire sur des milieux pauvres et secs neuf mois sur douze ; elles disposent d'un enracinement profond, de racines spécialisées, d'un système complexe d'économie de l'eau et de l'azote, d'une rhizosphère appropriée et même d'un excédent de ressources minérales et d'énergie qu'elle capitalisent dans leurs parties aériennes, souterraines, litière et dans le sol, en permettant à d'autres agents de maintenir les conditions environnementales qu'elles nécessitent. Les principaux prédateurs, le feu et les herbivores, sont devenus presque des facteurs favorables à faible dose dans la mesure où ils régulent la densité, la régénération, les insectes, enfouissent les litières ; ces plantes ne coûtent rien, même quand il s'agit de les réintroduire ; mais elles ne produisent que des matières premières : bois, fourrages. La notion de fertilité n'a dès lors pas le même sens pour ces deux plantes et c'est bien cette confusion qu'il nous faut absolument éviter, dans notre tentative de synthèse interdisciplinaire.

Le cycle culture-jachère était dès lors le système idéal pour avoir une terre durablement productive et facile à travailler et ses produits : le maïs grain, le bois, les fourrages, les plantes utiles. Devant l'impossibilité de maintenir ce système, on demande au maïs et au cotonnier de fournir les surplus pour acheter herbicides, pesticides, amendements, énergie, concentrés alimentaires ; si cela fonctionne à peu près en pays industrialisés, au détriment de la qualité des eaux, des aliments et de l'air, en Afrique tropicale, on en est loin, soit pour des raisons d'environnement socio-économique instable et d'organisation insuffisante, soit par suite d'environnements trop enclavés, trop difficiles ou trop pauvres pour que les investissements onéreux y soient compétitifs. Seul le travail, pour l'instant, y est compétitif, encore doit-il être productif. Le risque est alors de surexploiter le milieu. Il est bien possible que ce soit la grande quantité de vieilles jachères fertiles disponibles qui ait permis l'essor de l'agriculture soudanienne des années 1970-1990. En leur absence, l'agriculture restera-t-elle compétitive ?

On est tenté de revenir à ce passé « fertile » en intégrant, un peu naïvement, la phase jachère à la phase culture (agro-foresterie, plantes de couvertures, soles fourragères, bandes herbeuses) ; mais on rapproche aussi de la phase culture les problèmes que la défriche avait évacués : problèmes de ravageurs et de nuisances (rats, serpents), problèmes de compétitions, pointes de travail, immobilisation minérale, et surtout problèmes sociaux car même défricher un champ n'est pas un acte légitime pour tout le monde, en particulier pour les éleveurs transhumants et les gardes forestiers.

C'est donc un nouvel équilibre qui doit être trouvé, entre les caractères de la plante cultivée et les caractères de son environnement ; mais c'est aussi une nouvelle société qui doit s'organiser, car les nouvelles règles engendrent des incompréhensions et des frustrations : comment abolir le feu, la divagation en saison sèche, individualiser arbres et pâturages, sans créer de graves tensions ni demander un travail parfois exorbitant, qui ne font que précipiter l'exode rural ? Tout est lié et les difficultés de la parcelle agricole renvoient à des

recherches de solutions autres qu'agricoles ; c'est pourquoi les recherches sur les processus, les nouvelles techniques et les pratiques de gestion de la fertilité doivent se poursuivre le plus près possible du terrain et des acteurs agro-écologiques.

Références

- Abaddie L., Mariotti A. & Menaut J.-C. (1992). «Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply», *Ecology*, n° 73 : pp. 608-613.
- Abaddie L., Lata J.-C. & Tavernier V. (2000). «Impact des graminées pérennes sur une ressource rare : l'azote», in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 189-193.
- Adiko A. & Gnonhoury G.P. (1997). «Incidence des jachères à légumineuses pérennes sur la nématofaune dans le Centre-Ouest de la RCI», in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 119-125.
- Agbenin J.O. & Goladi J.T. (1998). «Long term soil fertility trend in the savanna as influenced by farmyard manure and inorganic fertiliser», in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 21-30.
- Areola O., Aweto A.O. & Gbadegesin A.S. (1982). «Organic matter and soil fertility restoration in forest and savanna fallows in South Western Nigeria», *Geojournal*, vol. VI, n° 2 : pp. 183-192.
- Aweto A.O. (2000). «Managing natural bush fallows in tropical Africa for improved soil fertility and fuelwood production», in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 92-96.
- Azontonde A.H., Feller C., Ganry F. & Remy J.-C. (1998). «Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud Bénin», *Agriculture et développement*, n° 18 : pp. 55-61.
- Bacye B. (1993). *Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (Pce Yatenga, Burkina Faso)*, th., univers. Aix-Marseille-III, 243 p.
- Badiane N.A. (1993). *Le statut organique d'un sol sableux de la zone Centre Nord du Sénégal*, th., Institut national polytechnique de Lorraine, 145 p.
- Bado B.V., Sédogo P.M., Cescas M.-P., Lompo F. & Bationo A. (1997). «Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso», *Cahiers Agriculture*, n° 9 : pp. 571-575.
- Balasubramanian V., Singh L., Nnadi L.A. & Mokwunye A.U. (1984). «Fertility status of some upland savanna soils of Nigeria under fallow and cultivation», *Samaru Journal of Agricultural research*, vol. II, n° 1-2.
- Banoïn M. & Achard F. (1998). «Place des jachères dans les systèmes d'élevage et comportement alimentaire du bétail (Ticko, Sud-ouest Nigerien)», in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 153-160.
- Berger M., Belem P.C., Dakouo D. & Hien V. (1987). «Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'intégration agriculture-élevage», *Coton et Fibres Trop.*, vol. XLII, n° 3 : pp. 201-207.
- Bernard M., Padonou E. & Maliki R. (1998). «La restauration de la fertilité du sol par deux systèmes agro-forestiers au Sud Bénin», in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 281-286.
- Bernhard-Reversat F., Masse D. & Harmand J.-M. (2000). «Qualité des litières et décomposition en jachères naturelles ou plantées en Afrique tropicale», in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 194-203.
- Bertrand R. & Gigou J. (2000). *La fertilité des sols tropicaux*. Paris, Maisonneuve et Larose, 397 p.
- Bilgo A., Serpantié G. & Hien V. (2000). «Impact des modes de gestion des jachères de courte durée sur la matière organique du sol. Expérimentations de Bondoukuy. Premiers résultats», in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : Texte des posters : 1-10.
- Bohlinger B., Alhonsou R. & Koch W. (1998). «Influence on indigenous woody species on maize yields», in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 129-134.
- Boiffin J. & Sébillote M. (1982). «Fertilité, potentialité, aptitudes culturales. Signification actuelle pour l'agronomie», in *Fertilité du Milieu pour l'Agriculture*, numéro spécial, *Bull. Tech. Inf.*, n° 370-372 : pp. 345-353
- Boli Z. & Roose É. (2000). «Rôle de la jachère de courte durée dans la restauration de la productivité des sols dégradés par la culture continue en savane soudanienne humide du Nord Cameroun», in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 149-154.

- Bonetti C. & Jouve P. (1999). « Jachère et systèmes agraires en Afrique subsaharienne. », synthèse bibliographique, document CORAF et Union Européenne, I.R.D. Dakar, 73 p.
- Borderon A. (1990). *Rapport d'évaluation du Projet de développement rural des provinces du Houet, de la Kossi et du Mouhoun*, t. II, Paris, C.C.C.E., 77 p. + ann.
- Bouzou Moussa I. (2000). « Dégénération des champs et reconstitution des jachères : le vent, facteur prépondérant (Bogodjoton, Niger) », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 163-169.
- Boyer J. (1982). *Les sols ferrallitiques*, t. X, *Facteurs de fertilité et utilisation des sols*, Orstom, 384 p. (coll. *Init. et Doc. tech.*, n° 52).
- Brabant P. (1991). *Le sol des forêts claires du Cameroun*, t. I et II, Orstom, 530 p. et 278 p.
- Breman H. (1982). « La production des herbes pérennes et des arbres », in Penning de Vries & Djiteye (éd., 1982) : pp. 399-411.
- Breman H. (1997). « Amélioration de la fertilité des sols en Afrique. Contraintes et perspectives », in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 7-20.
- Breman H. & J.J. Kessler (1995). « Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions, with an emphasis on the Sahelian countries », *Advanced Series in Agricultural Sciences*, Berlin, Springer Verlag, n° 23, 340 p.
- Breman H. & Cissoko K. (éd.) (1998). *L'intensification agricole au Sahel*, Paris, Karthala, 996 p.
- Carter M.R. & Stewart B.A. (éd.) (1996). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*, Boca Raton, Lewis Pub., 477 p.
- César J. & Coulibaly Z. (1990). « Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres », in Piéri (éd., 1990) : pp. 271-288.
- César J., Béchoua H., Olivier R. & Zoumana C. (2000). « Effet améliorant de *Parkia biglobosa* dans les formations anthropiques de la région de Korogho (R.C.I.) », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 656-663.
- Charreau C.L. & Nicou R. (1971). « L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche-ouest Africaine et ses incidences agronomiques », *Agron. trop.*, vol. XXVI, n° 5 : pp. 565-631.
- Chopart J.-L. (1980). *Étude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, Mil, sorgho, riz pluvial)*, th. 3^e cycle, Toulouse (France), Institut national polytechnique, 159 p.
- Chotte J.-L., Masse D., Pontanier R. & Berlier G. (1997). « Transformation, durant la jachère, de l'horizon superficiel (0-10cm) d'un sol ferrugineux du bassin arachidier sénégalais (Thyssen Kaymor) », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 41-46.
- Chotte J.-L., Blanchart F. & Lavelle P. (1995). « Gestion durable des terres en milieu tropical. Régulation biologique des processus de décomposition de la matière organique », in Ganry & Campbell (éd., 1995) : pp. 89-97.
- Chotte J.-L., Duponnois R., Adiko A. & Cadet P. (2001). « Jachère et biologie du sol », in Floret & Pontanier (éd., 2001) : vol. II, pp. 85-121.
- Cissé L. (1986). *Étude des effets d'apports de matières organiques sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre-Nord du Sénégal*, th. doct., sciences agronomiques, Nancy (France), I.N.P.L., 184 p.
- Coleman D., Oades J.M. & Uehara G. (éd.) (1989). *Dynamics of soil organic matter in Tropical Ecosystems*.
- Cornet A. (1980). « Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec les valeurs de potentiel et la texture de sols sableux du Nord-Sénégal. », *Cah. Orstom, sér. Biol.*, n°42 : pp 54-60.
- Crétenet M. (1990). « Efficacité agronomique des engrais et amendements en agriculture fixée », in Piéri (éd., 1990) : pp. 419-437.
- Crétenet M., Dureau D., Traore B. & Ballo D. (1994). « Fertilité et fertilisation dans la région sud du Mali : du diagnostic au pronostic », *Agriculture et développement*, n° 3 : pp. 4-12.
- D.R.S.P.R. (1992). *Commission technique sur les systèmes de production rurale. Synthèse des résultats de la campagne 1991-1992*, Sikasso (Mali), D.R.S.P.R.
- D'Herbes J.-M., Loireau M. & Gayte O. (1997). « Utilisation du SIE-ROSELT dans l'évaluation des ressources Naturelles renouvelables », *Harmonisation des outils méthodologiques de collecte, de suivi et d'analyse des données agro-socio-économiques en GRN*, Actes de l'atelier régional, Dakar, 19-21 févr. 1997, InsaH-Cilss.

- Dabin B. (1961). « Les facteurs de la fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée », *Bull AFES*, numéro spécial : pp. 108-130.
- Dabin B. & Maignen R. (1979). « Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles », *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXIII, n° 4 : pp. 235-257.
- De Blic Ph. & Somé N.A. (1997). « Etat structural d'horizons superficiels sableux sous culture ou jachère herbacée en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso) », *Étude et gestion des sols*, vol. IV, n° 1 : pp. 17-24.
- De Rouw A. (1993). « Influence du raccourcissement de la jachère sur l'enherbement et la conduite des systèmes de culture en zone forestière », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 257-266.
- De Rouw A. (2000). « Rendement élevé et rendement sûr, deux objectifs des agriculteurs sahéliens du Niger », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 120-126.
- Delaney M., Brown S., Lugo A.E., Torreslezama A., Quintero N.B. (1997). « The distribution of organic carbon in major components of forests located in five life zones of Venezuela », *Journal of Tropic. Ecology*, vol. XIII, n° 5 : pp. 697-708.
- Devineau J.-L. & Fournier A. (1997). *Synthèse provisoire des résultats acquis par l'équipe d'écologie de Bobo-Dioulasso*, Bobo-Dioulasso, Orstom, 77 p., multigr.
- Dhillon S.S. (2000). « Are bio-indicators useful. Cases of set aside land from Mali, Lao PDR, Indonesia and Norway », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 97-102.
- Diatta S. & Siband P. (1998). « Évolution des sols sous culture continue : le cas des sols rouges ferrallitiques du Sud du Sénégal », in Renard et al. (éd., 1998) : pp. 221-228.
- Djimadom M. & Serpantié G. (2000). « Recherches participatives sur la culture élémentaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *tridentatus* Hack. en zone soudanienne », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 11-16.
- Donack P. (1998). « Dynamique de la végétation ligneuse post-culturelle en zone sahélo-soudanienne du Cameroun », in Floret (éd., 1998) : pp. 55-62.
- Dreyfus B., Fulele-Laurent E., de Lajudie Ph., Ndoye I., Neyra M., Samba R., Sy A., Sylla S. & Yattara I. (1998). « Jachères et rhizobiums », in Floret (éd., 1998) : pp. 107-112.
- Dugué P. (1999). *Utilisation de la biomasse végétale et de la fumure animale : impacts sur l'évolution de la fertilité des terres en zone de savanes/ Etude de cas au Nord-Cameroun*, Montpellier, Cirad, doc. Cirad-Tera, n° 57-99, 175 p. + ann.
- Faye E. (2000). *Étude de la dynamique des souches ligneuses dans le cycle culture-jachère en zone soudanienne*, mém., Dakar-Bobo-Dioulasso, I.D.R.-I.R.D., 85 p.
- Feller C. (1995). *La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1. Recherche de compartiments fonctionnels. Une approche granulométrique*, Paris, Orstom, 393 p. (coll. T.D.M., vol. 144).
- Feller C. & Milleville P. (1977). « Évolution des sols de défriche récente dans la région des terres Neuves (Sénégal Oriental) : I. Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques », *Cah. Orstom sér. Biologie*, vol. XII, n° 3 : pp. 199-211.
- Feller C., Garry F. & Cheval M. (1981). « Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. I. influence d'une fertilisation azotée et d'un amendement organique sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux », *Agron. trop.*, vol. XXVI, n° 1 : pp. 9-25.
- Feller C., Lavelle P., Albrecht A. & Nicolardot B. (1993). « La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 15-32.
- Floret Ch., éd. (1996). *La jachère, lieu de production*, Actes de l'atelier, Bobo-Dioulasso, 2-4 oct. 1996, Dakar, Coraf-Union européenne, 144 p.
- Floret Ch., éd. (1998). *Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique du Centre et de l'Ouest*, rapport final, Dakar, C.E.E.-Orstom, 245 p.
- Floret Ch. & Serpantié G. (éd.) (1993). *La Jachère en Afrique de l'Ouest*, Actes de l'Atelier international, Montpellier, 2-5 déc. 1991, Paris, Orstom, 494 p. (coll. *Colloques et séminaires*).
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1997). *Jachère et maintien de la fertilité*, Actes de l'Atelier international, Bamako, 2-4 oct. 1997, Dakar, Coraf-Union européenne, 146 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1998). *Jachère et systèmes agraires*, Actes de l'Atelier international, Niamey, 30 sept.-2 oct. 1998, Dakar, Coraf-Union européenne, 212 p.

- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000-a). *La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagements, alternatives*, vol. I, Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avr. 1999, Paris, John Libbey, 2 vol., vol. I, 804 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2001). *De la jachère naturelle à la jachère améliorée en Afrique tropicale, Le point des connaissances*, vol. II, Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avr. 1999, Paris, John Libbey, 2 vol., vol. II, 356 p.
- Floret Ch., Pontanier R. & Serpantié G. (1993). *La Jachère en Afrique Tropicale*, vol. XVI, Paris, Unesco, 86 p. (coll. *Man and Biosphère*).
- Fournier A. (1994). « Cycle saisonnier et production nette de la matière végétale herbacée en savanes soudaniennes pâturées : Les jachères de la région de Bondoukui (Burkina Faso) », *Écologie*, vol. XXV, n° 3 : pp. 173-188.
- Fournier A. & Nignan S. (1997). « Quand les annuelles bloquent la succession post-culturelle. Expérimentations sur *Andropogon gayanus* », *Écologie*, vol. XXVIII, n° 1 : pp. 13-21.
- Fournier J., Serpantié G., Delhoume J.-P. & Gatheliet R. (2000). « Rôle des jachères sur les écoulements de surface et l'érosion en zone soudanienne du Burkina Faso. Application à l'aménagement », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 179-188.
- Ganry F. & Campbell B. (éd.) (1995). *Sustainable land management in African Semi-Arid and Subhumid Regions*, Proceedings of the Scope Workshop, Dakar, 15-19 nov. 1993, Cirad.
- Ganry F., Roger P.A. & Dommergues Y. (1978). « A propos de l'enfouissement de pailles dans les sols sableux tropicaux du Sénégal », *CR Acad. Agric. Fr.* : pp. 445-494.
- Ganry F., Sanogo Z.J.L., Gigou J. & Oliver R. (2000). « Intensification du système cotonnier-sorgho au Mali-sud fondée sur le fumier et la gestion optimale de la fertilisation », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 142-148.
- Gillier P. (1960). « La reconstitution et le maintien de la fertilité des sols et le problème des jachères », *Oléagineux*, vol. XV, n° 8-9 : pp. 637-643 & n° 10 : pp. 699-704.
- Gitay H. & Noble I.R. (1997). « What are functional types and how should we seek them ? », in Smith *et al.* (éd.), 1997.
- Gobat J.M., Aragno M. & Matthey W. (1998). *Le sol vivant*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 519 p.
- Gray L.C. (1997). *Land degradation in southwestern Burkina Faso : the environmental effects of demographic and agricultural change*, Ph. D. Th., Urbana-Champaign, University of Illinois, 277 p.
- Greenland D.J. & Nye P.H. (1959). « Increase in carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows », *Journal of Soil Science*, n° 10 : pp. 284-299.
- Groot J.J.R., Koné D., Traoré M. & Kassimoko N. (1995). *Description du système racinaire de *Andropogon gayanus*, *Vigna unguiculata*, *Stylosanthes hamata*, en zone soudano-sahélienne*, rapport P.S.S. n°8, Wageningen-Bamako, Abdlo-I.E.R., 45 p.
- Groot J.J.R., Hassink J. & Koné D. (1998). « Dynamique de la matière organique du sol », in Breman & Cissoko (éd., 1998) : pp. 243-263.
- Guillemin R. (1956). « Évolution de l'agriculture autochtone dans les savanes de l'Oubangui », II^e partie, « L'agriculture oubanguienne à ses origines », *Agron. trop.*, vol. XI, n° 2 : pp. 143-176.
- Guiraud G., Ganry F. & Llimous G. (1980). « Action de différents résidus de récolte en sol sableux tropical. Estimation au moyen de l'azote 15 », *Agron. trop.*, vol. XXXV, n° 3 : pp. 221-224.
- Haque I. & Jutsi S. (1984). « Nitrogen fixation by forage legumes in sub-saharan Africa : potential and limitations », *Ilca Bull.*, n°20 : pp. 2-13.
- Harmand J.-M. & Njiti C.F. (1998). « Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'une sol ferrugineux et sur la production céréalière », *Agriculture et Développement*, n° 18 : pp. 21-29.
- Helmfrid S. (1998). *La cueillette féminine dans l'économie familiale. L'exemple d'un village cotonnier burkinabe*, rapport, Bobo-Dioulasso, U. Stockolm-C.N.R.S.T.-I.R.D., 82 p., *multigr.*
- Henin S., Gras R. & Monnier G. (1969). *Le profil cultural. L'état physique et ses conséquences agronomiques*. II^{ème} éd. Paris, Masson., 331 p.
- Herrick J.E. & Wander M.M. (1998). « Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils : the importance of distribution, composition, and soil biological activity », in Lal *et al.* (éd., 1998) : pp. 405-425.
- Hien V, Sédogo P.M. & Lompo F. (1994). « Gestion de la fertilité des sols au B.F. Bilan et perspectives pour la promotion des systèmes agricoles durables dans la zone soudano-sahélienne », in *Promo-*

- tion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique Soudano-sahélienne, Dakar, 10-14 janv. 1994, Montpellier, F.A.O.-C.T.A.-Cirad : pp. 47-59.
- Hien V., Billaz R., Segda Z. & Traoré K. (2001). « Systèmes de culture permanente à jachère courte », in Floret & Pontanier (éd., 2001) : vol. II, pp. 241-264.
- Hoefsloot H., Van der Pol F. & Roeleveld L. (1993). *Jachères améliorées. Options pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'Ouest*, Amsterdam, Royal Tropical Institute (Kit), 86 p.
- I.R.C.T. (Institut de recherche du coton & des textiles exotiques) (1986). *Rapport annuel d'expérimentation au Nord Togo*, Paris, Institut de recherche du coton & des textiles exotiques.
- Ibewiro B., Van Lauwe B., Sangina N. & Merckx R. (1998). « Nitrogen contributions of roots to succeeding maize in herbaceous legume cover cropping systems in a tropical derived savanna », in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 123-128.
- Jean S. (1975). *Les jachères en Afrique tropicale. Interprétation technique et foncière*. Mém. de l'Institut d'ethnologie, n° 14, Paris, Musée de l'Homme, 165 p.
- Jenkinson D.S. & Rayner J.H. (1977). « The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments », *Journal of Soil Science*, n° 123 : pp. 298-305.
- Jenkinson D.S. & Aynaba A. (1977). « Decomposition of carbon-14 labelled plant material under tropical conditions », *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n° 41 : pp. 912-915.
- Jenny H. (1950). « Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils », *Soil Sci.*, vol. LXIX, n° 1 : pp. 63-69.
- Jones M.J. (1971). « The maintenance of soil organic matter under continuous cultivation at Samaru, Nigeria », *Journal of Agricultural Science*, n° 77 : pp. 473-482.
- Jones M.J. (1973). « The organic matter content of the savanna soils of West Africa ». *J. Soil Sc.*, n° 24 : pp. 42-53.
- Juo A.S.R., Franzluebbers K., Dabiri A. & Ikhile B. (1995). « Changes in soil properties during longterm fallow and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. LVI, n° 1 : pp. 46-60.
- Kairé M. (1999). *La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme au Sénégal*, th. D.E.A., univers., Aix-Marseille, 115 p.
- Kallon J.M., George J.B., Amara D.S., Gichuru M.P., Nolte C. & Ekanayake I.J. (1998). « Effects of tree pruning and fertiliser levels on food production, nutrient balance and soil fertility in a continuous two-year alley mixed cropping of rice-cassava on the fragile uplands of Sierra Leone », in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 259-266.
- Karlen D.G. & Stott D.E. (1994). « A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality », *Defining Soil Quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America Special Publication*, n° 35, Madison (É.-U.A.) : pp. 53-72.
- Kombiok J.M., Rudat H. & Frey E. (1998). « Screening of exotic and local tree species for soil fertility maintenance for sustainable maize production in northern Ghana », in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 311-318.
- Kombo J.C. (1999). *Etude des effets des jachères de courte durée sur les rendements du sorgho et les propriétés chimiques d'un sol ferrallitique dans l'Ouest du B.F.*, mém., Bobo-Dioulasso, I.D.R., 78 p.
- Kotto S.J., Woome P.L., Appolinaire M. & Louis Z. (1997). « Carbon dynamics in slash and burn agriculture and land use alternatives of the humid forest zone in Cameroon », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. LXV, n° 3 : pp. 245-256.
- Koutika L.S., Kameni R. & Weise S. (2000). « Variability of nutrient content in topsoils under fallow in three villages in the humid forest zone (Southern Cameroon) ». in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 223-228.
- Lal R., Wilson G.F. & Okigbo B.N. (1979). « Changes in properties on an Alfisol by various crop covers », *Journal of Soil Science*, n° 127 : pp. 377-382.
- Lal R., Kimblé J.M., Follett R.F. & Stewart B.A. (éd.) (1998). *Soil Processes and the Carbon Cycle*, Boca Raton, CRC Press Inc.
- Lamotte M. & Bourlière F. (1978). *Problèmes d'écologie. Structure et Fonctionnement des écosystèmes terrestres*, Paris, Masson, 345 p.
- Laudelout H. (1990). *La jachère forestière sous les tropiques humides*, Louvain-la-Neuve, Centre de rech. forestières de Chimmay, U.C.L., multigr.

- Le Bourgeois T. & Merlier H. (1995). *Adventrop, les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*, Montpellier, Cirad CA, 637 p.
- Le Mire-Pêcheux L., Fournier A. & Dugast S. (1996). « Artificialisation des savanes soudaniennes et dynamique d'une herbe spontanée utile. Les effets écologiques de quelques pratiques autour de *Andropogon gayanus* ». *Dynamique et Usage des ressources renouvelables*, actes du coll., Orléans, 16-17 oct. 1996, Paris, Orstom : pp. 37-56.
- Manlay R. (1994). *Jachère et gestion de la fertilité en Afrique de l'Ouest : suivi de quelques indicateurs agro-écologiques dans deux sites du Sénégal*, th., D.E.A., Marseille, univers. Aix-Marseille, 69 p.
- Manlay R. (2000). *Dynamique de la matière organique dans un terroir agro-pastoral de savane Ouest-Africain (Sud-Sénégal)*, th. doct., Engref, 192 p. + ann.
- Manlay R. & Masse D. (1998). « Dynamique du carbone dans le cycle culture jachère en Afrique de l'ouest », in Floret (éd., 1998) : pp. 91-104.
- Manlay R., Cambier Chr., Ickowicz A. & Masse D. (2000). « Modélisation de la dynamique du statut organique d'un terroir ouest africain par un système multi-agents (Sénégal) », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 111-119.
- Manlay R., Masse D., Diatta M. & Kaire M. (1997). « Ressources organiques et gestion de la fertilité du sol sur un terroir agropastoral de Casamance (Sénégal) », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 1-16.
- Masse D., Bodian A., Cadet P., Chotte J.-L., Diatta M., Faye E.H., Floret Chr., Kairé M., Manlay R., Pontanier R., Bernhard-Reversat F., Russel-Smith A. & Sart M. (1998). « Importance de divers groupes fonctionnels sur le fonctionnement de jachères courtes », in Floret (éd., 1998) : pp. 163-202.
- Masse D., Dembele F., Le Floch E. & Yossi H. (1998). « Impact de la gestion des feux de brousse sur la qualité des sols des jachères de courte durée dans la zone soudanienne du Mali. », in Renard et al. (éd., 1998) : pp. 115-122.
- Masse D., Da Conceicao Silva K., Diatta M. & Madinan I. (2000). « Végétation des jachères de courtes durée et rendement du mil après défriche au Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 127-134.
- Mc Cown R.L., Cogle A.L., Ockwell A.P. & Reeves T.G. (1988). « Nitrogen supply to cereals in legume ley systems under pressure », in Wilson (éd., 1988) : pp. 292-314.
- Menaut J.-C. & César J. (1979). « Structure and primary productivity of Lamto savannas, Ivory Coast », *Ecology*, vol. LX, n° 6 : pp. 1197-1210.
- Milleville P. (1972). « Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en Moyenne-Casamance », *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, n° 17 : pp. 23-37.
- Ministère de la Coopération et du Développement (1991). *Mémento de l'Agronome*, 4^e éd., Paris, ministère de la Coopération et du Développement, 1 635 p.
- Mitja D. & Puig H. (1993). « Essartage, culture itinérante et reconstitution de la végétation dans les jachères en savane humide de Côte d'Ivoire », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 377-394.
- Moreau R. (1993). « Influence de la mise en culture et de la jachère forestière sur l'évolution des sols forestiers tropicaux », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 245-256.
- Morel R. (1989). *Les sols cultivés*, Paris, Lavoisier, 373 p. (coll. *tec & doc*).
- Morel R. & Quantin P. (1972). « Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (Rép. Centrafricaine) », *Agron. Trop.*, n° 27 : pp. 667-739.
- Moukam A., Woome P.L. & Kotto S.J. (2000). « Carbon and nutrient dynamics in a transect of land uses in the humid forest in Cameroon », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 229-235.
- Moureau C. (1967). « Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols ouest-africains », *Cah. Orstom, Sér. Pédologie*, vol. V, n° 4 : pp. 393-420.
- Muller F. (1997). « State of the art in ecosystem theory », *Ecological modelling*, vol. C, n° 1-3 : pp. 135-161.
- Myers R.J.K., Palm C.A., Cuevas E., Gunatilleke I.U.N. & Brossard M. (1994). « The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand », in Woome & Swift (éd., 1994) : pp. 81-116.
- Ndour Y.B., Fardoux J. & Chotte J.-L. (2000). « Statut organique et microbiologique de sols ferrugineux tropicaux en jachère naturelle au Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 354-360.
- Nebie C. (1999). *Effets des modes de gestion des jachères courtes sur la macrofaune du sol. Cas de la région de Bondoukuy (Burkina Faso)*, mém. D.E.S.S., Syst. trop., univers. Paris-XII, 59 p. + ann.
- Netscher C. (1985). « A crop rotation to control root-knot nematodes in the tropics » *Int. Nematology Network Newsletter*, n° 2 : pp. 14-15.

- Nye P.H. & Greenland D.J. (1964). « Changes of the soil after clearing tropical forest », *Plant and Soil.*: pp. 101-113.
- Ouattara B., Serpantié G., Ouattara K., Hien V. & Bilgo A. (2000). « États structuraux des sols de culture et de jachère en zone cotonnière du B.F », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 170-178.
- Ouattara B., Serpantié G., Ouattara K., Hien V., Lompo T. & Bilgo A. (1997). « États physico-chimiques des sols cultivables en zone cotonnière du Burkina Faso. Effets de l'histoire culturale et du type de milieu », in Floret & Pontanier (éd., 1997).
- Pellissier P. (1966). *Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance*, Saint-Yriex, ministère de l'Éducation nationale-C.N.R.S., 939 p.
- Penning de Vries F.W. T. & Djiteye M.A. (éd.) (1991). « La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, de la végétation, et de l'exploitation de cette ressource naturelle », *Agricultural Research report*, 918, Wageningen, Pudoc, 525 p.
- Perry D.A., Amaranthus M.P., Borchers J.G., Borchers J.L. & Brainerd R.E. (1989). « Bootstrapping in ecosystems », *Bioscience*, vol. XXXIX, n° 4 : pp. 230-237.
- Picasso C. (1987). « Evolution du rendement et de ses composantes pour l'arachide et quelques cultures en rotation dans le Sud du Burkina Faso », *Oléagineux*, vol. IL, n° 12 : pp. 469-474.
- Pichot J., Sedogo M.P., Poulain J.-F. & Arrivets J. (1981). « Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques », *Agr. trop.*, vol. XXXVI, n° 2 : pp. 122-133.
- Piéri C. (1989). « Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara », Paris, ministère de la Coopération-Cirad-Irat, 444 p.
- Piéri C. (éd.) (1990). *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, Actes des rencontres internationales de Montpellier, 10-14 déc. 1990, Paris, ministère de la Coopération et du Développement, 587 p.
- Pontanier R. & Roussel R. (1998). « Les indicateurs du système culture-jachère », in Floret (éd., 1998) : pp. 203-229.
- Rajot J.-L. (2000). « Bilan de masse de l'érosion éolienne à l'échelle d'un terroir sahélien. Rôle des jachères », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 155-162.
- Renard G., Neef A., Becker K. & Von Oppen M. (éd.) (1998). *Soil fertility management in West African land use systems*, actes de l'atelier régional, Niamey, 4-8 mars 1997, U. of Hohenheim, Icrisat-Inran, 600 p.
- Richard L. & Djoulet B. (1985). *La fertilité du sol et son évolution. Zone cotonnière du Tchad*, Paris, I.R.C.T., 49 p.
- Ridder N. de & van Keulen H. (1990). « Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid tropics », *Fertilizer research*, n° 26 : pp. 299-310.
- Rockström J. (1997). *On-farm agro-hydrological analysis of the sahelien yield crisis : rainfall partitioning, soil nutrients, and water-use efficiency of pearl millet*, Stockholm University, Dept of Syst. Ecology, 21 p.
- Roose É. (1993). « Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 233-244.
- Russel E.W. (1973). *Soil conditions and plant growth*, Londres, Longman.
- Ruthenberg H. (1980). « Farming systems in the tropics », réédit., Oxford, Clarendon Press, 424 p.
- Sanchez P.A., Palm C.A., Szott L.T., Cuevas E., & Lal R. (1989). « Organic input management in tropical agroecosystems », in Coleman et al. (éd., 1989) : pp. 125-152.
- Savado V. (1998). *Contribution à l'analyse des effets « précédent » et « suivant » de différentes jachères de courte durée*, mém., Bobo-Dioulasso, I.D.R.-I.R.D., 86 p. + ann.
- Sébillotte M. (1985). « La jachère, éléments pour une théorie », *À travers champs, agronomes et géographes*, Paris, Orstom, (coll. *Colloques et Séminaires*) : pp. 175-229
- Sébillotte M. (1993). « L'agronome face à la notion de fertilité », *Natures-Sciences-Sociétés*, vol. I, n° 2 : pp. 128-142.
- Sédogo P. M. (1993). *Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité*, th. doct. science, univers. Abidjan, 343 p.
- Segda Z., Hien V., Lompo F., Bayala J. & Becker M. (1996). « Gestion améliorée de la jachère par utilisation de légumineuses de couverture », in Floret (éd., 1996) : pp. 133-139.

villageois, le rôle respectif des différents moyens de gestion de la fertilité minérale et organique peut être schématisé comme dans le tableau I.

Tableau I. Diversités des moyens de gestion de la fertilité des sols suivant l'éloignement des champs.

Moyens de gestion de la fertilité minérale et organique des sols	Champs de case	1 ^{re} auréole champs proches	2 ^e auréole champs intermédiaires	3 ^e auréole champs éloignés
Résidus domestiques	+++			
Fumier	+	+++	+	
Parcage		+	+	+
Légumineuses cultivées		+	+	+
Arbres (<i>Faidherbia albida</i>)		+++	+	
Jachère longue arbustive ou arborée			+	+++
Engrais minéraux		+	+++	
Combinaison des 4 grands moyens de gestion de la fertilité + recyclage (5) (par ordre d'importance)	5, 2, 3	2, 3, 1, 5	4, 3, 2	1

1 : jachère ; 2 : association agriculture-élevage ; 3 : légumineuses ; 4 : engrais.

N.B. : ce tableau n'a qu'une valeur schématique ; il ne prend pas en considération les bas-fonds où la jachère est peu utilisée.

Tout en relativisant le rôle de la jachère dans l'entretien de la fertilité des sols, il faut cependant reconnaître le rôle essentiel qu'elle a joué jusqu'à une date récente dans la reproduction de nombreux systèmes de culture d'Afrique subsaharienne. Quand la terre n'est pas un facteur limitant, elle reste le moyen le moins onéreux pour restaurer la fertilité du sol ; c'est peut-être ce qui explique que lorsque la pression foncière la réduit ou la fait disparaître, il se passe un certain temps avant que les agriculteurs lui substituent d'autres moyens de gestion de la fertilité des sols. Il en résulte une baisse de productivité des terres qui peut être l'amorce d'un cercle vicieux car la baisse des rendements limite le recours à d'autres moyens de gestion de la fertilité tels que les engrais minéraux ou organiques. Ce phénomène est particulièrement bien illustré par la figure 1.

Fonction fourragère de la jachère

Dans les enquêtes effectuées dans le cadre du projet Jachère, la fourniture de fourrage apparaît généralement comme la deuxième raison justifiant la pratique de la jachère. Cette raison explique qu'en dépit de la pression foncière de petites exploitations disposant d'un élevage réservent une partie de leurs terres à la jachère (Lusambo & Kange, 1999). Par ailleurs, la valeur fourragère des jachères, souvent supérieure à celle des parcours (Banoin & Achard, 1998), explique l'intérêt que les agriculteurs ayant du bétail lui portent. Comme pour la fertilité, ce rôle de la jachère doit être replacé par rapport à l'évolution générale des systèmes agraires et, en particulier, des relations entre agriculture et élevage.

Hormis les situations de confinement dues à l'insécurité, dans le premier stade d'exploitation agricole du milieu en Afrique subsaharienne, la conduite des cultures et celle des animaux étaient généralement dissociées. L'entretien de la fertilité des champs pouvait être

- Sement G. (1983). « La fertilité des systèmes culturaux à base de cotonnier en Côte-d'Ivoire. Neuf années d'expérimentations et d'observations multilocales », *Coton & Fibres Trop.*, vol. XXXV, n° 2 : pp. 229-248.
- Sène M. (1999). *Analyse de l'influence des systèmes de culture sur la variabilité des rendements du sorgho (Sorghum bicolor (L.) Moench) et sur son effet allélopathique dans le Sine-Saloum*, th., Paris, Ina-P.G., 186 p. + ann.
- Serpantié G. & Somé N.A. (1998). « Effets de la jachère longue à Andropogonées sur la structure du sol et recherches sur son raccourcissement. Premiers résultats d'essais à Bondoukuy », in Actes du 2^e FRSIT, avr. 1998, Ouagadougou, C.N.R.S.T.
- Serpantié G. & Kissou R. (1995). « Un indicateur intéressant pour les sols cultivés soudanais. la capacité d'échange cationique », *AB-DLO Thema's 2, Interprétation agronomique des données de sol : un outil pour la gestion des sols et le développement agricole*, Actes du Sémin. Ouagadougou, 14-16 mars 1995, Wageningen, Bunasols-A.S.M.V.S.-Inera : pp. 85-100.
- Serpantié G., Douanio M. & Djimadoum M. (1999). « Recherches participatives sur la culture d'*Andropogon gayanus* Kunth var. *tridentatus* Hack en zone soudanienne, 1 : Opportunité de cette culture et éléments d'écologie. 2 : Essais participatifs d'installation de peuplements », in Actes de l'atelier régional, Korhogo, 26-29 mai 1997, Bobo-Dioulasso, Cirides : pp. 181-190.
- Sholes M.C., Swift M.J., Heal O.W., Sanchez P.A., Ingram J.S.I. & Dalal R. (1994). « Soil fertility research in response to the demand for sustainability », in Wooster & Swift (éd., 1994) : pp. 1-14.
- Siband P. (1974). « Évolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance », *Agron. trop.*, 29 (12) : pp. 1228-1248.
- Smith T.M., Shugart H.H. & Woodward F.I. (éd.) (1997). *Plant Functional types : their relevance to ecosystem properties and global change*, Cambridge Univ. Press (IGBP book series).
- Somé A., Alexandre D.-Y. & Hien V. (1998). « Bio-indicateurs paysans de la fertilité des sols et gestion du cycle culture-jachère (zone soudanienne du B.F.) », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 153-160.
- Somé A., Hien V. & Alexandre D.-Y. (2000). « Dynamique comparée de la matière organique du sol dans les jachères soudanaises sous l'influence d'herbacées annuelles et pérennes », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 212-222.
- Somé N.A. (1996). *Les systèmes écologiques post-culturels de la zone soudanienne (Burkina Faso) : structure spatio-temporelle des communautés végétales et évolution des caractères pédologiques*, th. doct., univers. Pierre-et-Marie-Curie, Paris-VI, 212 p.
- Souli K. & Serpantié G. (1996). *La question des jachères dans la gestion des terroirs. Cas de Kassaho et de Popioho*, rapport, Bobo-Dioulasso, Orstom-P.D.R.I., 115 p. + cartes.
- Soumana I. (2000-a). « Indicateurs biologiques paysans de fertilité au Niger », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 103-110.
- Stace H. M. & Edye L.A. (éd.) (1984). *The biology and agronomy of Stylosanthes*. Sydney, Academic press.
- Stromgaard P. (1985). « Biomass, growth, and burning of woodland in a shifting cultivation area of South Central Africa », *Forest Ecology and Management*, n° 12 : pp. 163-178.
- Sturm H. J. (1998). « The importance of agricultural parks for soil fertility management », in Renard et al. (éd., 1998) : pp. 293-298.
- Talineau J.-C., Bonzon B., Fillonneau C., Hainnaux G., Picard D. & Sicot M. (1976). « Quelques conséquences agronomiques de l'introduction d'une sole fourragère dans une succession culturale du milieu tropical humide de la Côte d'Ivoire », *Cah. Orstom, sér. Biol.*, vol. XI, n° 4 : pp. 277-290.
- Taonda J.B., Bertrand R., Dickey J., Morel J.-L. & Sanon K. (1995). « Dégradation des sols et agriculture minière au Burkina Faso », *Cah. Agric.*, n° 4 : pp. 363-369.
- Tarawali G. (1991). « The residual effects of Stylosanthes fodderbanks on maize yield at several locations in Nigeria », *Tropical Grasslands*, n° 25 : pp. 26-31.
- Tchienkoua S. & Zech W. (2000). « The effect of cultivation and fallowing on phosphorous pools on ferrallitic soils in central Cameroon », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 204-211.
- Thurston H.D. (1997). *Slash/mulch, Sustainable Methods for Tropical Agriculture*, Londres, IT Publications, 196 p.
- Tisdall J.M. (1996). « Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter », in Carter & Stewart (éd., 1996) : pp. 57-96.
- Traoré M. (1995). *Utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne : Andropogon gayanus*, th. doct., Isfra, rapport PSS, n° 19, Wageningen-Bamako, A.B.-D.L.O.-I.E.R., 149 p.

- Valentin C. (1989). « Les états de surface des savanes de l'Ouest africain : relations avec les sols et incidences sur l'économie de l'eau », *Soltrop 89*, Paris, Orstom : pp. 243-252.
- Valentin C. (éd.) (1990). *Hyperbay, 1990*, Paris, Orstom, 307 p. (coll. *Études et thèses*).
- Valentin C., Chevalier P., Fritsh E. & Janeau J.-L. (1990). « Le fonctionnement hydrodynamique aux échelles ponctuelles ». in Valentin (éd., 1990) : pp. 147-163.
- Vallis I. & Gardener C.J. (1984). « Nitrogen inputs into agricultural systems by *Stylosanthes* », in Stace & Edye (éd., 1984) : pp. 359-380.
- Van der Pol F. (1992). *Soil Mining. An unseen contributor to farm income in southern Mali*, Bulletin 325, Amsterdam, Royal tropical institute (Kit), 48 p.
- Vierstra G. (1994). *La perception des paysans de la dégradation des sols et des politiques pour la combattre*, Amsterdam-Bamako, Kit-D.R.S.P.R., 24 p., multigr.
- Watson K.A. & Goldsworthy P.R. (1964). « Soil fertility investigations in the middle belt of Nigeria », *Emp. Journal of Exp. Agric.*, vol. XXXII, n° 128 : pp. 290-302.
- Wezel A. & Bocker R. (1999). « Mulching with branches of an indigenous shrub (*Guiera senegalensis*) and yield of Millet in semi-arid Niger », *Soil & Tillage research*, vol. L, n° 3-4 : pp. 341-344.
- Wilkinson G.E. (1975). « Effect of grass fallow rotations on the infiltration of water into a savanna zone soil of northern Nigeria. », *Journal of Trop. Agric.*, n° 52 : pp. 97-103.
- Wilson J.R. éd. (1988). *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*, Cab International, Cab, Slough.
- Woomer P.L. & Swift M.J. éd. (1994). *The biological management of tropical soil fertility*, Chichester (R.U.), J. Wiley-T.S.B.F.-Sayce Publ., 243 p.
- Yemefack M. & Nounamo L. (2000). « Dynamique des sols et durée optimale des jachères naturelles dans l'agriculture itinérante sur brûlis en zone forestière humide du Sud-Cameroun », in Floret & Pontanier (éd., 2000-a) : vol. I, pp. 135-141.
- Yoni M. (1995). *Étude du stade à *Andropogon gayanus* dans la reconstitution de la végétation des jachères soudaniennes à Bondoukuy (Ouest du Burkina Faso)*, mém., Bobo-Dioulasso, I.D.R.-I.R.D., 91 p.
- Young A. (1989). *Agroforestry for Soil Conservation*, Wallingford-Nairobi, Cab International-Icraf.