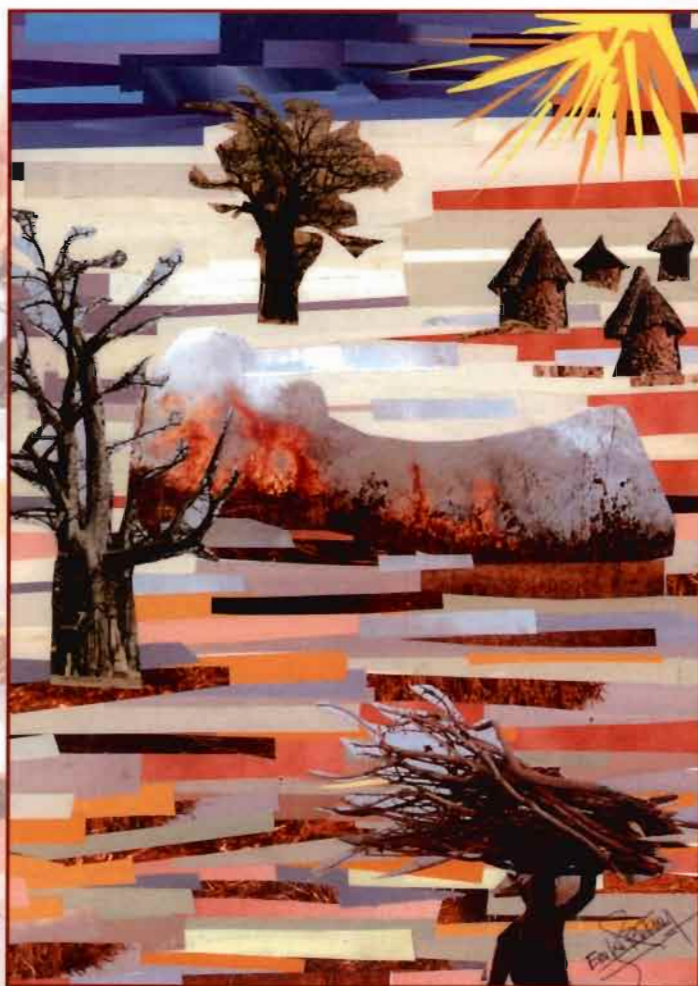


La jachère en Afrique tropicale

*De la jachère naturelle à la jachère améliorée.
Le point des connaissances*

Ch. Floret et R. Pontanier

Volume 2



La jachère en Afrique tropicale.
Rôles, aménagement, alternatives

Fallows in tropical Africa.
Roles, Management, Alternatives

Volume 2
De la jachère naturelle à la jachère améliorée.
Le point des connaissances

From natural to improved fallow systems.
The current knowledge

Édité par
Ch. Floret et R. Pontanier



ISBN : 2-7099-1442-5

ISBN : 2-7420-0302-9

Éditions John Libbey Eurotext

127, avenue de la République, 92120 Montrouge, France

Tél : (1) 46.73.06.60

e-mail: contact@john-libbey.eurotext.fr

[http : www.john-Libbey.eurotext.fr](http://www.john-Libbey.eurotext.fr)

John Libbey and Company Ltd

163-169 Brompton Road,

Knightsbridge,

London SW3 1PY England

Tel : 44(0) 2380 65 02 08

John Libbey CIC

CIC Edizioni Internazionali

Corso Trieste 42

00198 Roma, Italia

Tel. : 39 06 841 26 73

© John Libbey Eurotext, 2001, Paris

Sommaire

Contents

Préface

Preface

Christian Floret & Roger Pontanier V

1. Jachères et systèmes agraires en Afrique subsaharienne

Fallow and agricultural systems in subsaharian Africa

Philippe Jouve 1

2. Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest

Fertility and fallow in West Africa

Georges Serpantié & Badiori Ouattara 21

3. Jachère et biologie du sol en Afrique tropicale

Fallow and soil biology in tropical Africa

Jean-Luc Chotte, Robin Duponnois, Patrick Cadet,
Amoncho Adiko, Cécile Villenave, Constance Agboba & Alain Brauman 85

4. Végétation des jachères et succession post-culturelle en Afrique tropicale

Vegetation of fallows and post-cultivation succession in tropical Africa

Anne Fournier, Christian Floret & Guy-Modeste Gnahoua 123

5. Les productions des jachères africaines à climat soudanien

(bois et produits divers)

Fallow productions in Soudanian African area (wood, etc.)

Daniel-Yves Alexandre & Maguette Kaïré 169

6. Les jachères fourragères naturelle et améliorée en Afrique de l'Ouest

Natural and improved fallow in West Africa

François Achard, Pierre Hiernaux & Maxime Banoin 201

7. Systèmes de culture permanente à jachère de courte durée en zone tropicale <i>Cropping systems with short-term fallows in tropical area</i> René Billaz, Victor Hien, Zacharie Segda & Karim Traoré.	241
8. La jachère agroforestière (arborée ou arbustive) en Afrique tropicale <i>Tree improved fallows in tropical Africa</i> Jean-Michel Harmand & Pity Ballé	265
9. Les haies-vives défensives en zones sèche et subhumide d'Afrique de l'Ouest <i>The live hedges in West Africa</i> Dominique Louppe & Harouna Yossi	293
10. Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne <i>Rehabilitation of degraded soils in the semi-arid zones of the subsaharian Africa</i> Abdoulaye Mando, Robert Zougmore, Prosper N. Zombré & Victor Hien.	311

Préface

Sébillotte (1993) définit la jachère comme l'état d'une parcelle dont la culture a pour différentes raisons agro-écologiques, socio-économiques et même politiques été momentanément interrompue ; cette interruption, suivant les raisons, peut aller de quelques mois à plusieurs années.

En Afrique tropicale, un système traditionnel de l'utilisation des sols consiste en une phase de culture (5 à 15 ans) suivie d'un abandon cultural (« la jachère ») dès qu'une baisse des rendements et de la fertilité se fait sentir, ou qu'un envahissement par des mauvaises herbes ou des parasites est observé. La phase de jachère (de 10 à 30 ans, selon la pluviosité de la zone) qui suit la culture permet la remontée de la fertilité grâce à un retour à la savane arbustive ou arborée. La jachère est aussi source de bois, elle produit des petits fruits, des plantes médicinales et sert de pâturage. Elle protège les sols de l'érosion et permet une forte reprise de l'activité faunique du sol après culture. Elle permet la régénération des sols par l'augmentation des stocks de matière organique et des éléments nutritifs. Elle a un rôle dans la lutte contre les mauvaises herbes et les parasites. Elle joue aussi un rôle dans la gestion sociale des terres.

Ce système culture-jachère a bien fonctionné jusqu'à une date récente. Actuellement, la croissance de la population et la tendance à la sédentarisation ont induit une forte augmentation et concentration des surfaces cultivées et proportionnellement une diminution des surfaces en jachère. De même, les temps de jachère se sont considérablement raccourcis, alors que les prélèvements de bois et d'herbacées de pâture se sont accrus ; le feu contrarie également, en la ralentissant, la régénération biologique naturelle du sol et de la végétation. L'évaporation et l'érosion prennent de l'importance, ce qui entraîne une baisse de l'efficacité de la pluie pour la production végétale. Il est donc devenu nécessaire de mettre au point une gestion adaptée de la jachère, ou des méthodes de substitution, comme par exemple l'introduction dans l'assolement d'une sole fourragère ou la plantation d'arbres fixateurs d'azote à croissance rapide, pour assurer le maintien durable de l'activité agricole en Afrique tropicale, et préparer le passage à une agriculture continue.

Deux projets ont été initiés par des organismes de recherche du Nord et du Sud et soutenus par l'Union Européenne. Il s'agissait du projet « Raccourcissement du temps de jachère biodiversité et développement durable en Afrique centrale et en Afrique de l'Ouest » (STD3/DG XII) et du projet « Recherche sur l'amélioration et la gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest » (7^e FED/DG VIII). Dans le cadre de ce programme consacré à la « jachère », un collectif pluridisciplinaire de chercheurs, enseignants, décideurs et aménagistes mène en réseau depuis six ans des activités de recherche, de formation, de valorisation, et d'expertise sur le thème : « passage de systèmes pratiquant la jachère à une agriculture continue ; conséquences pour les ressources naturelles et leur gestion », dans les pays suivants : Burkina Faso, Cameroun, Côte-d'Ivoire, Mali, Niger et Sénégal. Ce programme régional, coordonné par l'IRD sous l'égide de la CORAF, associe plusieurs institutions de recherche et d'enseignement supérieur : CNRST/INERA (Burkina Faso), IRAD (Came-

roun), CNRA (Côte d'Ivoire), IER (Mali), Faculté d'agronomie (Niger), ISRA (Sénégal), CIRAD (France), CEFE/CNRS (France), NRI (Grande-Bretagne) et un certain nombre d'universités du Nord et du Sud.

Les actions entreprises dans ces projets privilégient des recherches à caractère finalisé pour l'amélioration, la valorisation ou la substitution de la jachère par d'autres pratiques. En effet face à la saturation de l'espace cultivable, des techniques de « jachères améliorées » sont proposées pour maintenir les fonctions indispensables de la jachère (fonctions de restauration de la fertilité, de production fourragère et de bois, etc.). Des recherches plus fondamentales sont également entreprises. Elles visent à identifier les processus écologiques qui conditionnent **le maintien d'un niveau de biodiversité et de fertilité acceptable en conditions d'intensification de l'agriculture**. Les disciplines concernées sont actuellement : la sociologie, la démographie, l'agronomie, la géographie, l'écologie végétale et la biologie du sol. Ce projet a aussi permis la réalisation d'une centaine de publications, et d'ouvrages de synthèse, d'une trentaine de thèses ainsi que quelques films ; il a été un important cadre de formation pour des mémoires de D.E.A. et d'ingénieurs du Sud et du Nord.

Du 13 au 16 avril 1999 s'est tenu à Dakar un Séminaire international intitulé « La Jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagements, alternatives ». Les résultats du programme jachère, acquis au Burkina-Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Mali, Niger et Sénégal, ont été confrontés avec les résultats acquis par des chercheurs d'autres pays.

Un premier volume, publié chez le même éditeur que celui-ci, est constitué des Actes de ce Séminaire international sur la Jachère en Afrique tropicale. Il contient les quatre-vingt-douze communications présentées.

Ce second volume intitulé « De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances » contient dix articles de synthèse situant les principaux résultats du programme jachère dans un contexte plus élargi. La carte de la page XVI contient les principaux sites de référence cités dans ces différents articles. L'ouvrage s'organise en dix chapitres traitant différents thèmes liés à la jachère :

- Jachère et systèmes agraires.
- Jachère et fertilité.
- Jachère et biologie du sol.
- Végétation des jachères et succession post-culturelle.
- Les productions des jachères naturelles (bois et produits divers).
- La jachère fourragère naturelle et artificielle.
- Systèmes de culture permanente à jachère courte.
- La jachère agroforestière.
- Les haies-vives.
- Réhabilitation des jachères dégradées.

Le **chapitre 1** concerne l'évolution de la place de la jachère dans les systèmes agraires. Celle-ci est fortement corrélée à la dynamique de l'occupation de l'espace. Les raisons de l'évolution des surfaces en jachère dans les systèmes agraires, pouvant aller jusqu'à sa disparition, sont analysées ; elles concernent la croissance démographique entraînant une pression foncière, le défrichement de nouvelles terres pour l'appropriation du foncier... De la structure classique en auréole autour du village, avec une première zone de culture continue entourée d'une zone de cultures extensives avec jachères, on a tendance à passer alors à un espace totalement saturé par les cultures. La fonction remontée de la fertilité, jouée par la jachère, peut être partiellement remplacée par une meilleure intégration de la culture à l'élevage. L'auteur analyse les conséquences de cette intensification qui peut conduire,

selon les régions, à la dégradation des sols suite à la culture continue ou au contraire progressivement à un maintien d'une production soutenue grâce aux intrants, comme dans certaines zones cotonnières. Les rôles et fonctions de la jachère peuvent alors être progressivement remplacés par des herbicides, par du fumier, par des engrais, par des soles fourragères et/ou par l'agroforesterie, en particulier le parc arboré. Le cas des terroirs en voie de saturation où l'on s'achemine vers la culture continue sur l'ensemble de l'espace oblige à intégrer et intensifier un élevage de plus en plus sédentaire grâce au développement d'une gestion fourragère. La cohabitation, aujourd'hui encore difficile, de ces deux activités essentielles du monde rural nécessitera une réforme des régimes fonciers, une appropriation et une délimitation des parcelles matérialisées par des haies vives ou mortes, et un embocagement des terroirs, rétablissant ainsi la fonction paysagère de la jachère où l'arbre a une place importante.

La fonction première de la jachère est la reconstitution de la fertilité globale du sol avant la culture qui suit. La jachère vient en complément ou en substitution d'autres moyens insuffisamment disponibles comme le fumier et les engrais. Le **chapitre 2** étudie les différents aspects de la restauration de certains états et fonctions de l'écosystème indispensables aux cultures. Les auteurs insistent sur le fait que la fertilité d'un sol ne peut se définir que dans un contexte cultural déterminé (climat, sol, organismes du sol, moyens techniques, système de culture, aspects anthropiques, objectifs). Les indicateurs habituels de fertilité sont discutés, en particulier la teneur en matière organique et sous diverses formes. En s'appuyant sur de nombreux exemples, l'article envisage les processus généraux de transformation des matières organiques qui sont à la base de l'évolution du milieu pendant le cycle culture-jachère : états initiaux critiques (seuils) du sol et de la végétation au moment de la mise en jachère, bilans organiques et minéraux liés aux groupes fonctionnels qui interviennent dans les processus de réhabilitation (micro-organismes, faune du sol, graminées pérennes, ligneux, etc.). Les effets des différents systèmes à jachère sont analysés : culture itinérante à jachère longue, jachères naturelles exploitées courtes à graminées annuelles ou pérennes, jachères à graminées pérennes introduites, jachères à légumineuses herbacées, jachères plantées à base de ligneux. Le chapitre se termine par des propositions générales pour la gestion de la fertilité. Trop souvent les aménagistes n'ont pas suffisamment pris en compte les savoirs paysans dans leurs diagnostics. Ces savoirs hérités d'expériences, pratiques, réussites, échecs souvent séculaires, ont le mérite d'intégrer les contraintes du milieu naturel et social et les perturbations. Les ignorer peut conduire à de graves échecs.

Les processus biologiques ont un rôle très important dans le maintien de la fertilité des sols tropicaux. Durant le cycle culture-jachère, organismes et micro-organismes du sol évoluent. Certains jouent un rôle positif pour le fonctionnement de l'écosystème comme dans les cycles bio-chimiques (recyclage de la matière organique, mobilisation d'éléments nutritifs à partir de composés organiques, fixation d'azote, etc.). D'autres, au contraire, peuvent avoir un rôle négatif comme certains nématodes parasites des racines. Certains groupes, comme les termites, causent des dégâts à certaines espèces plantées ou cultivées, mais possèdent aussi une capacité de minéralisation importante de la matière organique. Le **chapitre 3** décrit l'impact de la jachère, principalement courte, sur des groupes fonctionnels de la faune, microfaune et microflore du sol connus pour leur impact positif ou négatif sur le fonctionnement du système : groupes bactériens intervenant dans le cycle du carbone et de l'azote, champignons mycorhiziens, termites, vers de terre, nématodes. On y discute aussi du devenir de ces groupes durant la phase de culture. Les résultats montrent que ces organismes sont fortement dépendants de la composition qualitative et quantitative du couvert végétal. La mise au point de bioindicateurs des états et faciès du cycle culture-jachère, qui pourraient aider l'agronome dans ses diagnostics, n'a pas toujours eu la réussite et la pertinence escomptées. A l'échelle de la parcelle ou d'un versant, l'échec de certains bio-indicateurs est souvent dû à une méconnaissance des cycles biologiques et phénologiques des espèces

réputées comme indicatrices, à une forte hétérogénéité spatiale et surtout à une imparfaite connaissance de l'histoire agricole des parcelles.

Les formations végétales que l'on rencontre en Afrique tropicale sont de moins en moins souvent directement issues des formations originelles que sont les forêts tropicales humides, les forêts sèches ou les savanes. Ces dernières, en particulier en zones sahélienne et soudanienne, se retrouvent aujourd'hui confinées sur des sols superficiels à fortes contraintes, très souvent incultivables. Beaucoup des formations naturelles actuelles représentent des stades de la succession végétale qui se développe après abandon de la culture. Le **chapitre 4** fait la synthèse des nombreux travaux sur la végétation des jachères, aboutissant à un schéma général de la reconstitution de la végétation après culture, tenant compte du gradient climatique, des différents sols et aussi du niveau de pression exercée par l'homme. Celui-ci tire en effet de la jachère, de façon excessive, des ressources fourragères et des ressources en bois. Ces prélèvements s'ajoutant à la pratique du feu de brousse contrarient l'évolution naturelle de la végétation. On assiste dans bien des endroits à une sélection des espèces les plus résistantes à la coupe, au pâturage, au feu et au défrichement répétés liés au raccourcissement du temps de jachère. La flore se banalise. Cette synthèse est l'occasion d'une réflexion sur l'évolution de la richesse et de la diversité floristique et donne une interprétation de ces transformations dans le cadre de la théorie écosystémique. Face à cette érosion de la diversité spécifique de la flore, et au risque de voir certaines zones soumises aux espèces envahissantes lorsque les conditions leur deviennent favorables, il convient de maintenir des observatoires de référence en s'appuyant sur la prise en compte de gradients bioclimatiques et d'artificialisation du milieu. Dans de nombreuses situations la succession naturelle est insuffisante. Il est alors nécessaire d'enrichir la flore existante par l'introduction d'espèces.

Le **chapitre 5** traite d'une fonction importante de la jachère, la production de bois, mais concerne aussi d'autres productions telles que matériaux d'artisanat, aliments végétaux, miel, gibier, produits de pharmacopée. Tous ces produits peuvent apporter des revenus et jouent également un rôle culturel et social. Ce chapitre est surtout consacré à la production de bois des jachères soudanienues et recense les principales études réalisées sur le sujet. Les résultats semblent indiquer que les jachères ont une production ligneuse bien supérieure à ce qui était admis auparavant. Mais bien entendu le raccourcissement du temps de jachère et la culture attelée diminuent la densité de souches restant dans la culture ; et les bois exploités à des fins domestiques concernent des brins de diamètres de plus en plus petits. Le chapitre donne des tableaux résumant les usages des principales espèces végétales des jachères. La raréfaction de certaines d'entre elles, liée à la disparition de la jachère, pose le problème de leur domestication avec réintroduction volontaire, par exemple dans des haies en bordure de champ. Cela pose aussi le problème des connaissances sur la biologie et la multiplication de ces espèces ; ces méthodes n'en sont qu'à leur début. Ce chapitre ne fait pas état de la fonction de production fourragère des arbres, qui est abordée dans le chapitre 6.

Le **chapitre 6** traite de la fonction fourragère des jachères naturelles et artificielles. Pâturées toute l'année, et surtout en saison des pluies où le bétail n'a pas accès aux champs, elles supportent souvent une charge élevée. Herbacées et ligneux contribuent au régime des animaux. Le mode de pâturage peut entraîner l'évolution de la végétation des jachères dans des directions diverses, envahissement par des espèces non appréciées, embroussalement. Le chapitre donne les caractéristiques floristiques et les productions végétales des jachères selon le climat. La dynamique saisonnière de la production herbacée en fonction du type de pâturage est abordée. L'apport de la végétation ligneuse au pâturage est discuté. Enfin des expériences de restauration des capacités de production fourragère des jachères, y compris par sursemis d'espèces fourragères, sont analysées. Les auteurs montrent que les jachères jouent encore un rôle important dans les systèmes de production culture-élevage.

Le **chapitre 7** est consacré aux jachères de très courtes durées dans le cadre des systèmes de culture permanente à fortes contraintes foncières. Il s'agit de jachères de l'ordre de 1 à 2

ans dont les fonctions principales sont le maintien d'un certain niveau de fertilité, la lutte contre les adventices et la protection contre l'érosion, en maintenant une couverture végétale permanente vivante ou morte. Il s'agit principalement de semis de légumineuses herbacées, à croissance très rapide et à enracinement puissant, qui entrent ainsi dans l'assolement, sans qu'une production végétale directement utile à l'homme ou au bétail soit forcément recherchée. La durée de ces jachères améliorées peut être réduite à une seule saison sèche, la culture suivante étant reprise par semis direct dans le mulch ainsi constitué. Toutefois les techniques de gestion de ces jachères courtes ne sont pas encore maîtrisées dans tous les cas, et ont été mises au point dans les zones les plus humides.

Lorsque les jachères naturelles trop dégradées et pauvres en ligneux ne remplissent plus leur rôle de restauration de la fertilité physico-chimique et biologique des sols de manière naturelle, une solution peut consister en la plantation d'arbres ou d'arbustes à croissance rapide, qui contribuent en outre à la fourniture d'une ressource ligneuse et/ou fourragère exploitable après peu d'années. Le **chapitre 8** traite de ces jachères agro-forestières, depuis les jachères arbustives courtes (1 à 2 ans) jusqu'aux jachères arborées plantées de longue durée (10-15 ans). L'étude montre la supériorité des espèces ligneuses fixatrices d'azote dans l'augmentation du bilan azoté de la jachère et l'importance du système racinaire pour la remontée des nutriments à partir des couches profondes du sol. Un choix d'espèces est proposé en fonction du climat. L'effet résiduel sur le rendement des cultures, après défrichage de ces jachères agro-forestières, est aussi abordé. L'adoption de cette jachère agro-forestière est fortement liée aux filières «énergie» qui concernent les produits des arbres, comme par exemple le charbon de bois.

Aménager l'espace après disparition des jachères et sécuriser les cultures, fourragères par exemple, qui les remplacent, va devenir une obligation pour les paysans en système de culture plus intensif. La haie-vive est un outil de structuration de l'espace qui va certainement se développer dans un proche avenir. Elle permet de lutter contre la divagation des animaux et contre l'érosion des sols. Elle est aussi vue comme un moyen d'appropriation foncière. Les ligneux plantés autour du champ peuvent également être la source de bois, de fourrages et de revenus par la vente de fruits. Le **chapitre 9** traite des haies-vives installées dans un but essentiellement défensif : choix des espèces, multiplication et plantation, entretien. Les effets écologiques de la haie sont abordés, ainsi que leurs avantages et inconvénients socio-économiques. Certaines études d'impact montrent aussi leur importance au niveau des fonctions de production.

On observe des zones d'abandon très ancien, sans doute en raison de l'épuisement du sol, où la végétation naturelle souvent surexploitée a du mal à se reconstituer. Il s'agit de friches abandonnées sans idée de reprise de la culture. Ces friches montrent souvent de grandes surfaces dénudées avec un sol complètement déstructuré en surface et peu perméable aux pluies. Ce sont les «hardé» du nord Cameroun, les «zipplé» du plateau Mossi, les «oualla oualla» du Mali. Une partie des zones de brousse tigrée, au Niger par exemple, a sans doute été ainsi anciennement cultivée puis abandonnée. Les sols de ces zones ne sont pas toujours superficiels et, en raison du manque de terres plus favorables pour étendre les zones cultivées, des efforts sont maintenant souvent entrepris pour les réhabiliter. Une synthèse concernant les travaux de réhabilitation physique mais aussi biologique de ces sols dans des zones de culture très ancienne est présentée dans le **chapitre 10**. Les techniques utilisées, souvent en zones sahéniennes ou soudano-sahéniennes, concourent toutes à provoquer une concentration avec infiltrations de l'eau dans des zones localisées : «zaï», cordons pierreux, diguettes en terre, microcatchments, demi-lunes, paillage, etc. Les zones d'infiltration préférentielle de l'eau de pluie constituent alors des îlots de fertilité où la matière végétale également concentrée est source de matière organique décomposée par la macrofaune (termites) et les micro-organismes du sol. La culture redevient possible sur ces îlots non contigus, mais au prix d'un travail et d'une patience considérables. Le paysan seul n'a souvent pas

les moyens de mise en œuvre de ces travaux de réhabilitation où les transports de matériaux, paille, fumier, cailloux sont des facteurs limitants. Projets, ONG, services gouvernementaux ont investi dans ces travaux de réhabilitation, avec des succès divers liés à l'entretien des ouvrages sur le long terme, et au degré de participation et d'appropriation des paysans.

*
* *

Les dix chapitres présentés dans ce volume, agrémentés d'une abondante bibliographie, ont donc pour objet de faire le point des connaissances sur la jachère naturelle dans les zones tropicales d'Afrique et sur les méthodes de substitution à ses fonctions alors qu'elle tend à disparaître. Mais ces méthodes ne prennent généralement pas suffisamment en compte la dimension du terroir, les aspects sociaux ou fonciers, et ne répondent pas toujours aux espoirs des populations rurales. Des études complémentaires sur ces sujets sont nécessaires. Beaucoup des processus écosystémiques et socio-économiques qui accompagnent l'intensification des systèmes de culture dans cette région n'ont été qu'abordés. L'appropriation par les populations rurales des innovations techniques, qui permettront le passage d'une agriculture pratiquant largement la jachère à un système de culture continue, est plus ou moins engagée suivant les sociétés. La recherche doit contribuer à proposer les modes de gestion de cette transition.

Éditeurs scientifiques

Christian FLORET
Directeur de recherche
IRD/CNRS
P. Box 1386
Dakar (Sénégal)
Tel. 849 35 31
Fax : 832 26 98/832 43 07
E-mail : flolret@ird.sn

Roger PONTANIER
Directeur de recherche
IRD
P. Box 1386
Dakar (Sénégal)
Tel. 849 35 34
Fax : 832 26 98/832 43 07
E-mail : ponpon@ird.sn

Preface

In 1993, Sebillote defined fallow as the state of a field when cultivation has, for different agro-economic or political reasons, been momentarily interrupted. This period could last from a few months to several years, depending on many factors.

A traditional land use system in tropical Africa cultivates the land for 5 to 15 years and then abandons the field when either a drop in fertility or an increase in weeds or parasites is noticed. This stage, lasting between 10 and 30 years depending on the region's rainfall, allows the fertility to recover as the shrubby and woody savannah returns. Fallow is a source of wood, small fruits, medicinal plants and is used as pasture. It protects the soil from erosion and encourages the renewal of post-cultivation soil fauna, as well as soil regeneration, by increasing the stocks of organic matter and nutrients. It plays a crucial role in the fight against weeds and parasites and also in the social management of the land.

This system of alternating cultivation and fallow worked well until recently. Population growth and a more sedentary lifestyle have increased the need for cultivated land and therefore, decreased land under fallow. The shortening of fallow time has also increased the removal of woods and herbaceous pasture. Fire too slows down the natural regeneration of soil and vegetation. Evaporation and erosion are causing the decline of the rainfall efficiency needed for vegetation growth. It has become more and more important to re-establish fallow as part of the farming cycle or when it is substituted to introduce a single fodder crop into the rotation cycle or to plant fast-growing nitrogen fixing trees, in order to ensure sustainable farming in tropical Africa in the form of continuous cultivation.

Two projects were initiated by research organisations from North and South, with support from the European Union. "Reduction of the fallow period, biodiversity and sustainable development in Central and West Africa" (STD\DG XII) and "Improvements and management of fallow lands in West Africa" (7th FED DG VIII). In 6 years time, a multi disciplinary group of researchers, teachers, developers and planners has developed a network of research, training and expertise on the theme : "From fallow farming practises to continuous cultivation : consequences for natural resources and their management", in Burkina Faso, Cameroon, Ivory Coast, Mali, Niger and Senegal. This regional programme co-ordinated by IRD under the auspices of CORAF brought together several institutes of research and higher technical education : CNRST/INERA (Burkina Faso), IRAD (Cameroon), CNRA (Ivory Coast), IER (Mali), the Faculty of Agronomy (Niger), ISRA (Senegal), CIRAD (France), NRI (Great Britain) and a number of universities North and South.

Applied research has been aimed at improving and optimising the land or where fallow is substituted, by other practises. Where land has been overused, improved fallow techniques are proposed to keep the key functions of soil fertility, and fodder and wood production. Basic research was aimed at identifying the ecological processes governing "the maintenance of a level of biodiversity and acceptable fertility under the increasing pressure of agriculture". The disciplines concerned were sociology, demography, agronomy, geography, phytoecolo-

gy and soil biology. Through the project, about hundred publi, thirty PhD, as well as several films, have been published. It has provided an important framework for post-graduate studies from North and South.

An international workshop took place in Dakar on "Fallow in tropical Africa : roles, management, alternatives" (date 13th-16th April 1999). The results of the research from the six participating countries were compared with results from researchs in other countries.

A first volume (published by John Libbey Eurotext) consists of the Proceedings of the International Seminar on Fallow in tropical Africa and contains the 92 presented papers texts.

The second volume "From Natural to Improved Fallow System. The review of knowledge" contains ten reviews, placing the main results of the fallow program in a larger context. The map (page XVI) is of the main reference sites. Each chapter has a different theme linked to fallow :

- Fallow and farming.
- Fallow and fertility.
- Fallow and soil biology.
- Fallow vegetation and post-cultivation succession.
- Products of natural fallows (wood, etc.).
- Natural and artificial fallows with fodder crops.
- Full-time cultivation with short-term fallows.
- Tree-planted fallows
- Living hedges.
- Renovation of degraded fallows.

Chapter 1 looks at the evolution of fallow in the farming system, which is strongly correlated to the dynamic of space occupation. Reasons for the evolution just to the point of disappearance are analysed and include population growth leading to land rights pressure and the clearing of new areas and land ownership. The classic farmland, surrounded by two rings, the inner of continuous cultivation and the outer of extensive cultivation with fallows, has tended to become an entire area completely saturated by cultivation. The author analyses the consequences of this intensification and the possibility of soil degradation depending on the area or on the other hand on the maintenance of an additive-enhanced production as in certain cotton producing areas. Fallow could be replaced bit by bit by herbicides, compost, fertilizers and fodder crops and/or tree planting, in particular tree parks. Farmlands approaching saturation point from continuous cultivation require the integration and intensification of increasingly settled livestock helped by fodder management. The co-habitation of these two essentials of the rural world needs a reform in land tenure laws and a delimitation of plots by living or dead hedges or tree-fencing of land re-establishes a landscape where the tree plays a crucial role.

The main function of fallow is the re-creation of overall soil fertility before the following crop. Fallow works together with, or as a substitute to, other methods insufficiently unavailable such as compost and fertilizer. **Chapter 2** studies the different aspects of the restoration of different states and functions of the eco-system necessary to cultivation. The authors insist that soil fertility can only be defined in specific farming contexts of climate, soil, soil organisms, technique, cultivation systems, anthropic aspects and objectives. The usual indicators of fertility are discussed, in particular the contents in organic matter. Based on a number of examples, the paper looks at the general processes of organic transformation during the alternate cultivation and fallow cycle. These initial critical states (thresholds) of soil and vegetation present during fallow, organic and mineral assessment are linked to

working groups that intervene during the rehabilitation process (micro-organisms, soil fauna, gramineaceous perennials, woody species, etc.). The effects of different fallow systems are analysed. These are itinerant cultivation with long fallows, natural fallows exploited with annual or perennial gramineaceous, fallows with introduced perennial gramineaceous, herbaceous legume fallows, fallows planted with woody species. The chapter ends with general proposals for fertility management. Too often managers have not taken sufficiently into account in their analysis the farmer's knowledge. Their inherited age-old knowledge gained by practical experience, success and failure deserves to integrate the limits of a natural and social environment and its disturbances. Ignoring this knowledge could lead to serious failure.

Biological process plays a very important role in the maintenance of tropical soil fertility. During the alternate cropping and fallow system, soil organisms and microorganisms evolve. Some of these play a positive role in the functioning of the ecosystem, as in biological cycles such as mobilisation of nutritive elements from organic compounds, or fixation of atmosphere N, etc. On the other hand, others have negative impact on plant growth, i.e. plant phytoparasite nematode. Other groups, such as termites, comprise species having a contrasted impact on the ecosystem. Some species are responsible for crop damages, while the activity of others resulted in an increasing mineralisation of organic matter. **Chapter 3** describes the impact of fallow on groups of fauna, micro-fauna and micro-flora in the soils. These groups include bacterial groups, bacteria involves in land N cycles, mycorrhizas, termites, earthworms and nematodes. Their behaviour during cultivation is also discussed. The results show that these organisms are strongly dependent on the quality and quantity of vegetation cover. Clarification of the bio-indicators of the state and facets of the cropping/fallow cycle, which could help the agronomist in his diagnosis, has not always succeeded and the relevance understood. At the plot or hillside level, the failure of certain bio-indicators is often due to the misunderstanding of the biological and phenological cycles of the species reputed to be indicators, to a strong spatial heterogeneity and above all to an incomplete knowledge of the plot farming history.

Vegetation in tropical Africa is less and less the direct result of the original formations which are humid, tropical forests, dry forests, or savannah. This last one, particularly in sahelian or sudanian areas, is currently confined to severely stressed superficial soils, often uncultivable. Many of the natural formations represent the levels of vegetal succession which develop after cultivation is abandoned. **Chapter 4** reviews a number of works dealing with fallow vegetation leading to a general scheme for its restoration after cropping, taking into account the climatic gradients, soils properties, and also the level of man-made pressure. This, in the case of fallow, seriously reduces the fodder and wood resources and adding to the practise of bush firing opposes the natural evolution of the vegetation. We help in the selection of plants which are the most resistant to slash, grazing, fire and repeated clearing linked to a shortening fallow period. Flora is common place. This review remarks on the evolution of the richness and diversity of flora and gives an interpretation of its transformation in the framework of an ecosystem theory. Faced by this erosion of the specific diversity of flora and at the risk of seeing certain areas submerged by invading species until conditions improve, it is better to maintain observations in taking into account the bioclimatic gradients and the artificiality of the environment. In many situations, natural succession is insufficient and the existing flora needs to be enriched with the introduction of exogeneous species.

The production of wood and its by-products, craft materials, food honey, game and medicines, as an important use of fallow is looked at in **Chapter 5**. All the products are able to supply an income and therefore play both a cultural and social role. This chapter deals particularly with the production of sudanian fallow wood with lists of the principal studies on the subject. The results seem to indicate that fallows have a much greater woody production than was previously thought. The shortening of the fallow period and harnessed culti-

vation have led to a smaller density of stumps in the field and the wood used for household purposes is of smaller and smaller branches. The paper gives tables summarising the use of the main vegetation species of the fallows. The rarity of some of these, when linked to the disappearance of the fallows, presents a problem in their domestication with voluntary re-introduction, as in the hedges bordering fields. These methods are only in their infancy and more knowledge is needed on the biology and the multiplication of these species. The use of trees as fodder is not dealt with here, but in a later chapter.

Chapter 6 looks at the working of fodder production in natural and artificial fallows. Fallows are grazed all the year round and particularly during the rainy season when the cattle have no access to the fields. Herbaceous and woody species contribute to the animals diet. This method of grazing could lead to the evolution of fallow vegetation in various directions with an invasion of inedible plants and overgrowth of bush. The chapter gives flora characteristics and vegetation growth of the fallows, depending on the climate. The seasonal dynamic of herbaceous production according to the type of pasture is looked at along with the contribution of woody vegetation in the pasture. Lastly, the experiments of restoring the capacity of fallow fodder production, including the oversowing of fodder species are analysed. The authors show that fallow still plays an important role in the cultivation/livestock systems of production.

Chapter 7 deals with short-term fallows in the framework of permanent cropping in land tenure limits. Fallows of 1 or 2 years duration have the main functions in maintaining a certain level of fertility together with fighting weeds and protecting against erosion, by maintaining a permanent cover of vegetation either living or dead. Research into the sowing of herbaceous legumes is being encouraged, particularly of those with a rapid growth and strong root system, that are of no direct use to man or cattle. The length of these improved fallows can be reduced to a single dry season. The following cultivation is started by sowing directly into remaining mulch. However, management techniques of these short fallows have not yet been learnt in all cases and have been set up in the most humid areas.

Where natural fallows are heavily degraded and poor in woody species, they are unable to fulfil their role in the restoration of physico-chemical and biological fertility of natural soils. The plantation of fast-growing trees and shrubs could be a solution contributing to the woody resources and/or to the exploitable fodder after a few years. **Chapter 8** looks at these tree-planted fallows, from shrubby 1 to 2 year short-term fallows to long-term tree planted fallows lasting 10 to 15 years. The study shows the efficiency of woody nitrogen-fixing species in the increase of the soil nitrogen level of the fallow and the importance of the root system with regard to the climate. The residual effect of the cultivation yields, after clearing tree-planted fallows, is also considered. The adoption of tree-planted fallows is also linked to the "energy" channels concerned with wood products like charcoal.

Farmers in a more intensive farming system will have to manage the space left by the disappearing fallows and replace them with, for example, fodder crops to guarantee cultivation. The living hedge is a tool of space-structuring which will certainly be developed in the near future. It forms a barrier against wandering animals and against soil erosion. It can also be used as a means of establishing land rights. Woody plants, surrounding a field, become equally a source of wood, fodder and income from the sale of fruit. Living hedges, planted with this defensive goal in mind, are the subject of **Chapter 9**, which also looks at the choice of species, multiplication and plantation and maintenance. The ecological effects of the hedges are considered as well as their social and economic advantages and disadvantages.

Very old abandoned areas, doubtless due to soil overuse, where the natural vegetation has been over-exploited to a point beyond regeneration, are observed. It is a question of clearings abandoned without any intention of re-starting cultivation. These clearings often show large, bare surfaces with a completely de-structured soil hardly able to hold water. These are

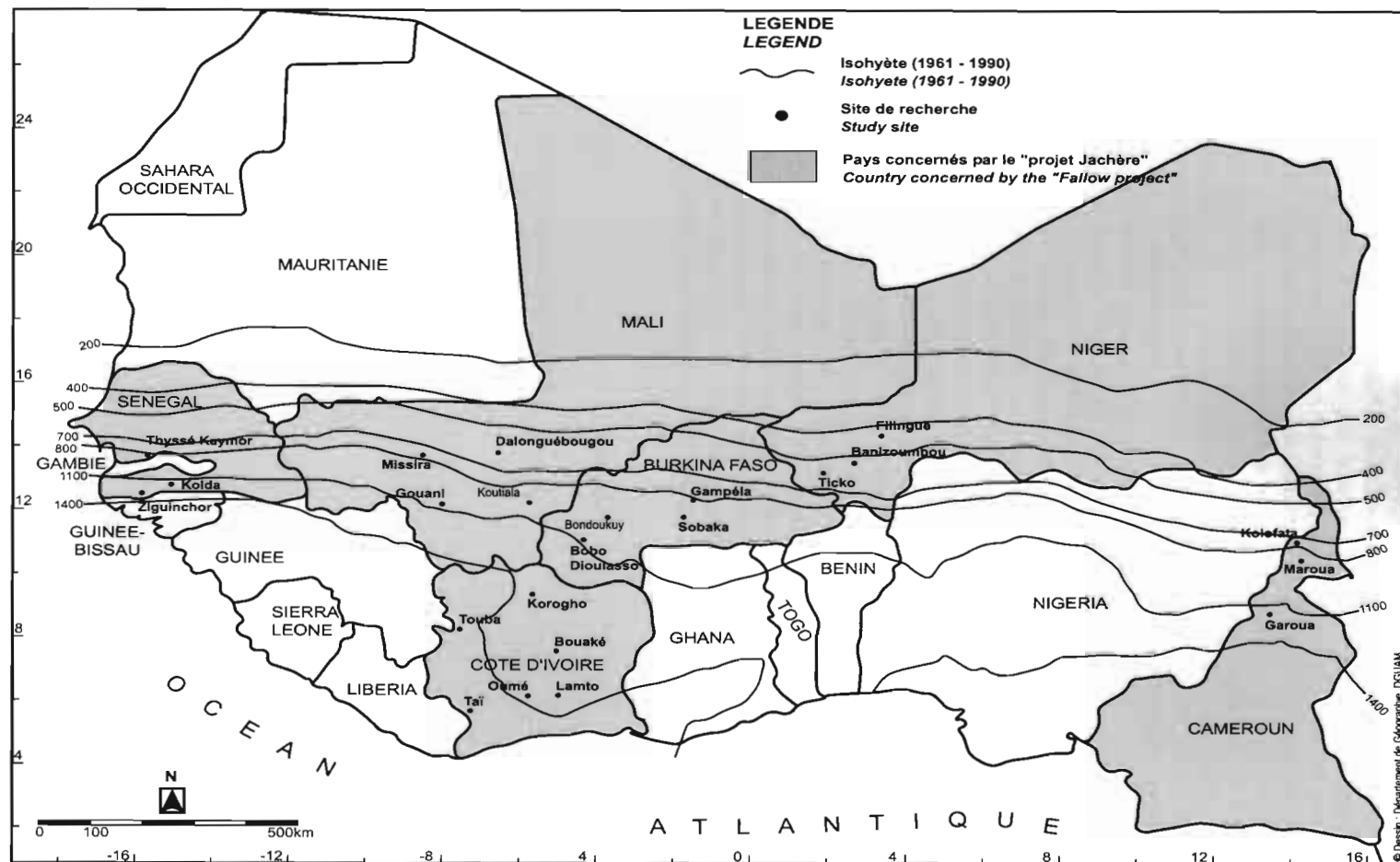
the "hardé" of North Cameroon, the "zippelé" of the Mossi plateau, and the "oualla oualla" in Mali. A part of the area of stripped bush in Niger, for example, has undoubtedly been cultivated in the past and then abandoned. The soils of these areas are not always superficial and because of the lack of more favourable soils in order to extend the cultivated areas, efforts are now being made to rehabilitate them. A review looking at the work of the physical and biological rehabilitation of the soil in these ancient fields is presented in **Chapter 10**. The techniques used, mostly in sahelian or sudano-sahelian areas, are working towards encouraging a concentration with water infiltration in localised areas using such aids as "zai", stone barriers, small dykes, micro-catchments, semi-circles, mulching, etc. Infiltration areas preferred by rainfall become islands of fertility where a concentration of organic residues is also a source of organic matter decomposing through the macro-fauna such as termites and the micro-organisms of the soil. Cultivation becomes possible on these unadjacent islands, but at a price of considerable work and patience. The farmer alone has not the means to start these rehabilitation work in which the transport of material, straw, compost and stones is a limiting factor. There are projects, NGOs and governmental services now interested in these works with varying degrees of success linked to the maintenance of the works in the long term and the amount of participation of farmers.

These ten chapters, presented in this volume and enhanced by a comprehensive bibliography, are therefore the subject of the review of knowledge on natural fallow in the tropical areas of Africa and on the methods of substitution for its functions when fallows have disappeared. However, these methods do not go far enough in taking into account the size of the land, and the social aspects and land rights and so do not necessarily respond to the hopes of the rural population. Complementary studies on these subjects are necessary. Many of the eco-system processes and social economic processes that accompany the intensification of cultivation, have not yet been tackled. There is more or less an acceptance by rural communities of innovative techniques which would allow for a change from an agriculture using fallows to a continuous cropping system. Research must contribute by proposing methods of managing this transition.

Editors

Christian FLORET
 Directeur de recherche
 IRD/CNRS
 P. Box 1386
 Dakar (Sénégal)
 Tel. 849 35 31
 Fax : 832 26 98/832 43 07
 E-mail : flolret@ird.sn

Roger PONTANIER
 Directeur de recherche
 IRD
 P. Box 1386
 Dakar (Sénégal)
 Tel. 849 35 34
 Fax : 832 26 98/832 43 07
 E-mail : ponpon@ird.sn



Localisation des principaux sites de recherche sur les jachères en Afrique de l'Ouest cités dans le texte.

Localisation of the main study sites on fallow systems in Western Africa quoted in the text.

Jachères et systèmes agraires en Afrique subsaharienne

Philippe Jouve*

L'étude des relations entre jachères et systèmes agraires est une entreprise difficile dans la mesure où elle conduit à aborder des thématiques très diverses qui vont de l'occupation de l'espace à la gestion de la fertilité des sols en passant par les relations entre agriculture et élevage. Aussi, pour préciser le point de vue qui sera adopté dans l'étude des relations entre jachères et systèmes agraires, il nous paraît utile de rappeler la signification donnée à ces deux termes.

Le sens donné à la notion de jachère dans la littérature agronomique de langue française a beaucoup évolué au cours du temps. En Europe, avant le XIX^e siècle, la jachère désignait l'ensemble des labours exécutés en vue de la préparation des céréales d'automne (Sigaut, 1993) ; ce premier sens a été abandonné depuis et la définition la plus communément admise pour la jachère est celle proposée par Sebillotte (1991) qui consiste à la considérer comme l'état d'une parcelle dont la culture a été momentanément interrompue, cette interruption pouvant aller de quelques mois à plusieurs années.

Cette définition a le mérite, entre autres, de bien différencier la jachère de la friche, qui correspond aussi à un abandon de parcelles cultivées mais sans perspective de remise en culture. À ce sujet, il est intéressant de noter que les appellations vernaculaires utilisées par différentes populations d'Afrique – que ce soient les Pulaars de Casamance (Fanchette, 2000), les Bwabas de Mamou, au Burkina Faso (Douanio & Lacombe, 2000) ou les Shis du Sud du Kivu, en République démocratique du Congo –, montrent que les agriculteurs de ces régions différencient nettement la jachère de la friche et vont même jusqu'à distinguer différents stades de la jachère.

Un système agraire, quant à lui, peut se définir comme le mode d'exploitation agricole d'un milieu par une société rurale en vue d'assurer ses besoins. Ce concept se singularise par trois caractéristiques importantes (Jouve, 1988) :

- l'acteur principal de ce système est une *société* rurale, c'est donc un concept sociétal ;
- un système agraire se constitue progressivement, génération après génération, il est de ce fait un *produit historique* ;
- il se traduit par une forme particulière de l'organisation et de l'occupation de l'espace qui peut être appréhendée à travers l'analyse des paysages ; il n'est donc pas surprenant que les premiers à avoir utilisé ce concept aient été des géographes (Sauter, 1975).

* Centre National d'études Agronomiques des Régions Chaudes (CNÉARC) 1 101 avenue Agropolis, 34 033 Montpellier cedex 01 France.

C'est par rapport à ces trois caractéristiques de base des systèmes agraires que sont les dynamiques agraires, les formes d'occupation de l'espace et l'organisation sociale des modes d'exploitation du milieu, que nous allons, dans un premier temps, analyser les relations entre jachères et systèmes agraires ; ensuite, nous examinerons les différents rôles et les différentes fonctions de la jachère dans les systèmes agraires d'Afrique tropicale.

Jachères et dynamiques agraires

Lorsqu'on se place dans une perspective historique mais également lorsqu'on analyse la géographie des systèmes agraires, on constate que la nature des jachères qui y sont pratiquées constitue un critère discriminant de ces systèmes agraires au point que certains auteurs comme Boserup (1970) ou Ruthenberg (1971) en ont fait l'élément de base de leur classification des modes d'exploitation agricole du milieu rural.

Ainsi, Boserup repère les grands stades d'évolution agraire des sociétés rurales pré-industrielles en fonction des types de jachère pratiqués par les agriculteurs :

- *jachère longue arborée* dans les fronts pionniers, là où la densité de population est encore faible ; ce type de jachère participant au système de culture de type défriche-brûlis avec culture itinérante ;
- *jachère buissonnante* lorsque la réduction du temps de jachère et l'allongement du temps de culture ne permettent plus la reconstitution du recru forestier ;
- *jachère courte, herbeuse*, d'un à deux ans, alternant avec des périodes de culture plus longues ;
- *jachère occasionnelle* ou absence de jachère et culture continue.

Cette évolution des jachères est bien entendu fortement corrélée à la dynamique d'occupation de l'espace qui est, comme nous le rappellent Serpantié (1993) :

un révélateur puissant de l'évolution des systèmes agraires et qui permet d'identifier souvent quels en sont les leviers.

Quels sont précisément ces leviers, ces moteurs des dynamiques agraires que nous révèle l'étude des jachères ?

La croissance démographique

Incontestablement, le premier des facteurs de dynamique agraire est la croissance démographique.

Au cours des dernières décennies, cette croissance a été particulièrement forte en Afrique sub-saharienne. Estimée à trois pour cent par an, elle a entraîné un doublement de la population tous les vingt-cinq ans environ. La conséquence de cette croissance démographique a été l'extension des zones cultivées au détriment des forêts, des terrains de parcours et des jachères. Plusieurs études menées dans le cadre du projet Jachère, au Sénégal, au Kenya et au Mali, mentionnent toutes, comme premier facteur responsable du recul de la jachère, la croissance démographique (Banoïn & Guengant, 1998 ; Nkamleu *et al.*, 2000 ; Maïga, 2000).

Ceci étant, l'action de ce facteur nécessite de bien distinguer, ce qui n'est pas toujours nettement fait, la densité de population rurale, c'est-à-dire le nombre d'habitants par kilomètre carré, de la densité d'occupation des terres cultivables (S.A.U.) qui est le bon critère pour évaluer la pression foncière, celle-ci pouvant être forte avec des densités de l'ordre de quarante habitants par kilomètre carré si plus de la moitié des terres sont incultes comme dans certaines régions du Sud du Mali (Maïga, 2000). La superficie cultivée par actif est un critère complémentaire très utile car il est un indicateur de niveau technologique et sa

comparaison avec la superficie cultivable par actif permet d'évaluer les disponibilités en terre pouvant être laissée en jachère.

Si la densité de population s'est accrue globalement en Afrique subsaharienne, il faut toutefois en signaler les grandes variabilités inter- et intra-régionale ; plusieurs facteurs expliquent ces variations (Boulier & Jouve, 1990). Il y a d'abord les facteurs climatiques, et en particulier l'aridité dont l'accentuation suivant un gradient Sud-Nord en Afrique de l'Ouest, s'accompagne d'une diminution sensible de la population ; mais ce facteur est en interaction forte avec la nature des sols ; quant ceux-ci sont sableux et donc facilement cultivables et bien adaptés à l'aridité comme dans le bassin arachidier du Sénégal ou le département de Maradi au Niger, ils autorisent des densités de population nettement plus élevées que dans les régions aux sols cuirassés en partie incultes, bénéficiant des mêmes hauteurs de précipitation.

À ces facteurs pédo-climatiques, s'ajoutent des facteurs historiques et politiques : création de zone de refuge en temps de conflit comme la « zone dense de Korhogo » au Nord de la Côte-d'Ivoire ; des facteurs économiques : enclavement, proximité des villes ; des facteurs sanitaires : zones affectées par des endémies comme l'onchocercose (vallées des Volta).

La conjonction de ces différents facteurs fait que la distribution de la population dans l'espace est loin d'être homogène. Il en résulte la coexistence au sein d'un même pays et souvent d'une même région, de zones où la pression foncière est très différente et qui correspondent à des stades d'évolution agraire se différenciant, entre autres, par l'importance qu'occupent les jachères dans le paysage (Beavogui & Ducros, 1996).

Mais l'évolution de la pression foncière, et donc de l'importance de la jachère, ne résulte pas seulement du croît démographique endogène mais aussi des migrations inter-régionales ; en effet, ces migrations sont fortes en Afrique et peuvent jouer dans les deux sens : accentuation de la pression foncière lorsqu'il s'agit de l'arrivée de migrants sur un territoire déjà occupé, comme c'est le cas dans le Sud-Ouest du Burkina Faso avec l'afflux de Mossis en provenance du Yatenga surpeuplé (Serpantié *et al.*, 2000) ; mais cela peut aussi se traduire par une diminution de la densité de population lorsque cette migration affecte les jeunes quittant l'agriculture pour chercher du travail en ville comme l'ont constaté Maïga au Mali, Bonetti & Loupe (1998) dans la région de Korogho au Nord de la Côte-d'Ivoire ; dans ce cas, il en résulte une déprise agricole et une évolution de certaines jachères vers la friche ou le parcours.

L'effet migratoire apparaît comme un phénomène complexe non univoque. En particulier, lorsque la migration aboutit à la coexistence sur le même territoire d'allochtones et d'autochtones, elle peut se traduire par des stratégies de mise en culture et de réduction des jachères dans le dessein de protéger le capital foncier des autochtones comme cela a été décrit dans le village de Bandafassi en Casamance (Ndiaye & Boulet, 2000).

Si l'Afrique subsaharienne a connu une forte croissance démographique jusqu'à la fin des années quatre-vingt, plusieurs études (Fanchette, 2000 ; Nkamleu *et al.*, 2000) mentionnent un ralentissement de cette croissance à partir de 1990. À l'effet des migrations vers les villes, il semble que s'ajoute une décélération du croît démographique qui serait l'amorce de la transition démographique tant attendue en Afrique noire.

Toujours est-il qu'à l'échelle des cinq dernières décennies, l'augmentation de la densité de population dans les campagnes d'Afrique subsaharienne a entraîné des changements manifestes dans les modes d'occupation de l'espace et dans l'importance et la nature de la jachère.

La jachère a régressé mais, comme on le verra par la suite, ses rôles et ses fonctions se sont également transformés. De réserve foncière au départ, elle a été ensuite utilisée comme moyen d'entretien de la fertilité des sols, pour devenir ensuite, en se réduisant, une simple composante du système d'affouragement des animaux.

Si l'on s'intéresse à l'évolution générale des systèmes agraires sous l'effet de l'augmentation de la population rurale, on est conduit, généralement, à se référer à deux thèses diamétralement opposées. Celle de Malthus qui impute à la croissance démographique la dégradation du milieu bio-physique, la baisse de sa productivité, entraînant à terme la famine et la mort d'une partie de la population, la migration remplaçant cette issue fatale dans les analyses néo-malthusiennes. À l'inverse, Boserup (1970) considère que dans les sociétés rurales pré-industrielles comme le sont celles d'Afrique subsaharienne, l'augmentation de la densité de population est un facteur essentiel de l'intensification agricole.

La diversité des situations rencontrées en Afrique tropicale permet, tout aussi bien, de démontrer la pertinence du schéma d'évolution malthusien (il s'applique assez bien à la situation du Yatenga au Burkina Faso, cf. Marchal, 1983) que celle du schéma boserupien, dont le district de Machakos au Kenya offre l'illustration la plus convaincante (Mortimore, 1993) mais qui se vérifie également en Afrique de l'Ouest, au Sud de Maradi en particulier (Jouve & David, 1985).

Cette ambivalence de l'effet de la densité de population sur la dynamique des systèmes agraires et par voie de conséquence sur la place et le rôle des jachères, peut s'expliquer tout d'abord par le stade d'évolution auquel se situe telle ou telle région.

En effet, on peut considérer que, sous l'effet de la croissance démographique, beaucoup de régions d'Afrique subsaharienne sont passées par un stade d'évolution de type malthusien, c'est-à-dire marqué par une pression foncière générant une dégradation des terres et une baisse de leur productivité (Lericollais, 1990). Mais, après ce stade, certaines régions sont entrées dans une phase d'intensification de type boserupien. C'est ce passage d'une dynamique régressive à une autre, plus positive, que l'on peut qualifier de *transition agraire*.

Cette façon de considérer l'évolution agraire de l'Afrique conduit à utiliser avec beaucoup de circonspection la notion de « saturation foncière » ; en effet, combien de zones considérées comme « saturées » il y a vingt ou trente ans, et condamnées de ce fait à l'effondrement, ont su trouver les moyens et les ressources de leur survie et parfois de leur développement (Tiffen *et al.*, 1994).

L'autre enseignement de cette évolution agraire non univoque que l'on observe en Afrique est que le facteur démographique, s'il est important, n'explique pas tout (Milleville & Serpantié, 1994-a). Le développement des cultures de rente et la monétarisation des échanges ont également joué un rôle important dans les dynamiques agraires de la région.

Le développement des cultures de rente et de la culture attelée

Dans un premier temps, l'introduction des cultures de rente (arachide, coton), grâce aux moyens matériels et financiers qu'elles permettent d'obtenir (traction attelée, engrais, crédit de campagne), a entraîné une extension des terres cultivées. En Haute-Casamance, Fanchette (2000) signale que l'extension de la culture du cotonnier dans les années soixante s'est faite au détriment des cultures vivrières et de la jachère, les agriculteurs ayant abandonné l'essartage pour pratiquer la culture continue, les engrais se substituant à la jachère pour entretenir la fertilité des sols. Avec le recul du coton consécutif à la baisse des cours et au désengagement des structures de développement étatiques ou para-étatiques, Fanchette (2000) note une réduction des superficies cultivées et la mise en friche d'une partie des parcelles les plus éloignées (champs périphériques).

Grâce aux revenus générés par les cultures de rente, les agriculteurs ont pu s'équiper en traction animale. Ainsi, en zone cotonnière au Sud-Ouest du Burkina Faso, le taux d'équipement des exploitations est passé de 3,4 pour cent en 1974 à plus de 68,0 pour cent en 1994 (Chevalier, 1994). De la même façon, le pourcentage des exploitations disposant d'au moins un attelage et une chaîne de travail complète a dépassé les quatre-vingt pour cent au début des années quatre-vingt-dix dans la zone cotonnière du Sud du Mali (Penelon, 1992).

Ce développement de la traction attelée associée au développement des cultures de rente a eu plusieurs effets. Il a d'abord favorisé l'extension des superficies cultivées en réduisant notamment le temps de travail nécessaire pour assurer le sarclage des adventices.

Dans les régions où la pression foncière était déjà forte, cette extension des cultures s'est faite au détriment des jachères. En revanche, dans des zones encore peu peuplées comme celle de Diourma au Mali, le recours à la traction animale et au labour, en provoquant un épuisement plus rapide des terres qu'en culture manuelle, a conduit les agriculteurs à réduire le temps de culture par rapport au temps de jachère ; cette réduction a été compensée par une extension du défrichement de nouvelles terres. L'adoption de la culture attelée a également permis d'étendre les cultures sur des terres plus lourdes que les agriculteurs avaient délaissées tant qu'ils pratiquaient la culture manuelle (Lethève & Tadion, 1996).

Un autre effet important du développement des cultures de rente et de la traction attelée a été la transformation des rotations culturales. Dans le bassin arachidier, au Sénégal, on est passé successivement d'une rotation mil-jachère à une rotation triennale mil-arachide-jachère pour revenir à une rotation mil-arachide sans jachères (Lericollais & Milleville, 1993). De la même façon, on note dans l'Ouest du Burkina Faso une évolution des rotations triennales (coton-sorgho-mil) vers des rotations biennales (coton-sorgho) ; cette évolution serait due au fait que le coton bénéficiant d'apport d'engrais, son retour plus fréquent sur les parcelles peut pallier la baisse de fertilité des sols résultant, entre autres, de l'abandon de la jachère.

Les changements techniques qui ont accompagné le développement des cultures de rente ont eu comme effet non seulement une modification des systèmes de culture mais aussi de l'occupation de l'espace ; c'est ce qui a été observé dans le village de Ségou, au Sénégal, sur les contreforts du Fouta Djallon, où les systèmes de culture traditionnels, associant les tapades et les grandes parcelles collectives de culture itinérante sur les pentes, ont été abandonnés au profit de la mise en culture des fonds de vallée, plats et plus propices à la culture du coton en traction attelée.

La monétarisation des échanges

En Afrique subsaharienne, la monétarisation des échanges est étroitement liée au facteur précédent, c'est-à-dire au développement des cultures de rente ; cette monétarisation a eu de nombreuses conséquences ; elle a favorisé une extraversion de l'économie des exploitations et une évolution de leur équipement ; mais c'est certainement dans le domaine des rapports sociaux que cette monétarisation des échanges a eu les effets les plus marquants ; ainsi, l'introduction des cultures de rente dans les villages et leur adoption par les femmes et par les cadets dans leurs champs individuels leur ont permis de disposer de revenus monétaires de façon indépendante ; ils ont pu ainsi s'affranchir, partiellement, de la tutelle des aînés et chefs d'exploitation. Cette monétarisation induite par le développement des cultures de rente a non seulement favorisé la multiplication des champs individuels au détriment des champs collectifs (Leroy, 1983) mais elle a surtout accéléré la segmentation des grandes unités de production familiales au profit d'exploitations plus restreintes mais aussi plus fragiles.

D'une façon générale, cette évolution s'est accompagnée d'une réduction du contrôle social de la terre par les chefs de famille et de lignage, qui a accentué la réduction des terres laissées en jachère.

Jachères et organisation de l'espace

Nous avons vu précédemment qu'en Afrique subsaharienne un certain nombre de facteurs d'évolution des systèmes agraires tendaient à réduire l'importance des jachères ; mais cette réduction est loin d'être uniforme à l'échelon local, comme à l'échelon régional (Moussa, 1998).

À l'échelon local, c'est-à-dire à l'échelon du territoire villageois, il est fréquent de constater que l'extensif côtoie l'intensif, que la culture continue peut être pratiquée en même temps que la jachère longue et la culture itinérante. L'exemple le plus manifeste nous en est fourni par les villages du Fouta-Djallon ; dans cette région, les tapades, regroupant les champs des femmes (*sountouré*) près des habitations, sont cultivées de façon intensive et continue grâce à une « artificialisation » extrême de ces champs. Sur le reste du territoire, les hommes pratiquent la défriche-brûlis et la culture itinérante avec la jachère longue. Ici, c'est la différence d'accès au foncier entre les hommes et les femmes qui explique cette opposition entre systèmes de culture (Maringue, 1992).

Parmi les autres facteurs qui déterminent la place de la jachère dans l'occupation et dans l'organisation de l'espace, il y a la distance. En agriculture manuelle, mais même après l'introduction de la traction attelée, la distance des champs cultivés par rapport aux habitations est un facteur essentiel de différenciation de l'occupation de l'espace. L'éloignement des champs, en allongeant les temps de déplacement, diminue la productivité du travail ; il en résulte que les champs éloignés sont cultivés de façon moins intensive que les champs proches et que la jachère y est plus importante. L'effet de ce facteur de la distance sur l'organisation de l'espace à l'échelon des territoires villageois est différent suivant la nature du milieu physique. Lorsque celui-ci est relativement homogène, comme dans le Sahel « sableux », on observe une structuration auréolaire des territoires villageois.

Un des premiers à avoir décrit et analysé ce type de structuration a été Pelissier (1953) en pays Sérère au Sénégal. Cette analyse a été ensuite reprise et actualisée par Lericollais & Milleville (1993) à partir des études diachroniques menées sur le territoire du village de Sob ; dans ce village, on retrouve les deux grands types de sol présents dans le pays Sérère. Les sols *dior*, sableux et faciles à travailler, et les sols *dek*, un peu plus limono-argileux, ce qui les rend cohérents à l'état sec. Les sols *dior* ont été les premiers à être mis en culture tandis que les sols *dek* constituaient une réserve forestière et pastorale. Avant l'introduction de l'arachide et alors que la densité des populations était déjà relativement élevée (40 hab.km⁻²), la zone cultivée était structurée en deux auréoles ; la première, constituant les champs de case, était fumée régulièrement par les déchets ménagers ; la deuxième était cultivée avec une rotation mil-jachère. Cette jachère enclose pour accueillir le bétail durant tout l'hivernage (les périodes de culture) était un élément central de l'association entre agriculture et élevage.

Avec l'introduction de l'arachide à la fin des années trente, la rotation biennale mil-jachère se transforme en rotation triennale mil-arachide-jachère ; parallèlement, on assiste à un début de mise en culture des sols *dek* avec une rotation mil-jachère.

Vers les années soixante, du fait de la pression foncière, la rotation triennale mil-arachide-jachère évolue vers une rotation biennale mil-arachide où la jachère disparaît ; dans les années soixante-dix, la traction attelée et la mécanisation permettent d'accentuer la mise en culture des sols *dek* en introduisant l'arachide dans la rotation.

Les recherches effectuées par Sene *et al.* (1998) dans trois villages de Casamance ont également mis en évidence une structuration auréolaire du territoire de ces villageois, avec une première auréole sans jachère, une deuxième portant des jachères courtes ou occasionnelles et une troisième auréole avec des jachères longues.

Les agriculteurs distinguent nettement ces différentes parties de leur territoire villageois en leur donnant des appellations vernaculaires spécifiques ; ainsi, dans la région de Kaffrine, en pays Wolof, au Sénégal, les agriculteurs distinguent les *tok kër*, champs de case où la culture (mil, maïs) est continue et la jachère inexistante, des *tol jati*, où est pratiquée la rotation arachide-mil-jachère, des *tol gor*, champs de défriche récente appelés à devenir des *tol jati* avec l'accentuation de la pression foncière (Mourgues, 1990).

Cette structuration auréolaire de l'espace évolue au cours du temps, comme on a pu le montrer dans le département de Maradi au Niger. L'étude de l'histoire agraire de cette région (Raynaut, 1980 ; Micheau, 1994) montre qu'avec l'accentuation de la pression foncière on est passé par plusieurs formes d'organisation de l'espace avec une place et un rôle spécifiques de la jachère.

Dans la phase de colonisation de l'espace, que l'on peut encore observer sur les fronts pionniers du Nord du département, l'occupation du territoire villageois s'est faite par une extension en étoile des terrains de culture à partir du centre du village ; chaque famille ou chaque lignage défrichant une portion de terre en allant du centre vers la périphérie.

Au début, ces « quartiers » lignagers n'étaient pas jointifs et la jachère était de longue durée (supérieure à 10 ans) ; celle-ci était le moyen principal d'entretien de la fertilité des sols car, à ce stade, l'élevage, pratiqué sur les parcours périphériques, était encore peu intégré à l'agriculture.

Avec l'augmentation de la densité de population, à l'extension radiale des cultures, est venue s'ajouter une extension latérale à partir de laquelle s'est constituée la structuration auréolaire des territoires villageois.

C'est ainsi que, dans les années soixante-dix, le modèle d'organisation de l'espace que l'on observe dans les villages du Centre méridional de Maradi comprend :

- une auréole centrale à culture permanente abondamment fumée, pouvant porter un peuplement clair de *gao* (*Faidherbia albida*) ;
- une deuxième auréole de culture associant céréales (mil, sorgho) et légumineuses (arachide, niébé), peu ou pas fumée, où la jachère est exceptionnelle ;
- une troisième auréole de culture plus extensive où le mil est cultivé en rotation avec des jachères de durée variable suivant le degré de pression foncière.

À l'extérieur de ces auréoles, on peut trouver des brousses périphériques, lieu d'approvisionnement en bois et terrain de parcours dont l'usage est souvent partagé entre plusieurs villages.

Dans les années quatre-vingt, avec l'accentuation de la pression foncière, on constate que la plupart des territoires des villages anciennement colonisés ne comprennent plus que deux auréoles (Abakar & Ducros, 1996) :

- une auréole de champs proches, les *gona kussa*, où la culture est continue ;
- une deuxième auréole de champs éloignés, les *gona nessa*, où la jachère est devenue résiduelle.

Enfin, lorsque cette pression foncière devient particulièrement forte, la structuration auréolaire tend à disparaître et l'on assiste à l'homogénéisation de l'espace agricole, la jachère est alors inexistante ou conjoncturelle, ce que l'on peut observer dans certains villages du centre du département de Maradi ou ce qui a été décrit par Dugué (1990) au Yatenga (Burkina Faso).

L'autre grand facteur de différenciation de l'espace agricole à l'échelon local et de la place qu'y occupe la jachère est la *diversité des terrains* ; ainsi, dans les milieux cuirassés, fréquents en Afrique sahélo-soudanienne, les territoires des villages s'étendent généralement le long d'une toposéquence comprenant trois grands types d'unités morpho-pédologiques :

- le *plateau cuirassé* réservé généralement au parcours mais souvent mité par des cultures ;

- les bas fonds, zones dépressionnaires de plus en plus mises en valeur par des cultures de contre-saison ;
- entre les deux unités précédentes, le *glacis* où coexistent agriculture et élevage.

Dans ce type de situation, la distance des champs se combine avec la nature des terrains pour délimiter des systèmes de culture en bandes longitudinales qui vont de l'intensif (bas-fond, champ de case) à l'extensif (haut de glacis) et où la jachère occupe une place d'autant plus grande que le système de culture s'extensifie. C'est précisément ce qui a été décrit sur le territoire de Ticko dans le canton de Torodi au Niger (Bâ, 1996).

À l'échelon régional, en Afrique subsaharienne, on note, comme à l'échelon local, la coexistence de zones de culture intensive, où la jachère est résiduelle, et des zones de culture extensive, où la jachère longue arborée ou arbustive est encore pratiquée (Dugué, 1990).

Les causes de ce contraste de situation ont déjà été évoquées. La plus ou moins forte densité de population est la première de ces causes mais elle résulte elle-même d'autres facteurs comme l'aridité du climat, l'histoire du peuplement humain, le type de sol, ou l'existence de centres urbains et de voies de communication.

Le département de Maradi offre une bonne illustration de l'action conjuguée de la variation de la pluviosité, des sols et de la proximité des villes qui fait que la densité de population varie de moins de dix habitants par kilomètre carré dans les zones d'occupation récente, au Nord et à la périphérie du département, à plus de cent habitants par kilomètre carré dans le centre méridional, à proximité de la ville de Maradi. À même latitude, c'est-à-dire avec une pluviométrie comparable, la densité de population entre les villages peut varier de quatorze à quatre-vingts habitants par kilomètre carré suivant que l'on se trouve sur sol *gigawa*, sol sableux facile à cultiver et mis en culture depuis longtemps ou sur sol *geza* cohérent à l'état sec, sensible au ruissellement et récemment défriché. Le ratio « surface cultivable par actif », cinq à six fois plus élevé dans le premier type de village où chaque agriculteur dispose de treize hectares de surface agricole utile (S.A.U.), explique aisément l'importance et la longue durée des jachères dans ce type de situation.

La région du zou, au Bénin, présente un contraste de situations du même type dont les causes sont à rechercher dans l'histoire de la région marquée par la traite et par l'impact des voies de communication sur le peuplement humain ; comme à Maradi, on trouve dans la même région des zones de fronts pionniers, où était pratiquée jusqu'à une date récente la culture itinérante sur brûlis avec des périodes de jachères longues, et des zones à proximité d'Abomey, très anciennement peuplées, avec de fortes densités de populations (plus de 100 hab.km²) où la culture est continue sans jachère (Roesch, 1990).

Ce genre de situation, assez fréquente en Afrique tropicale, offre la possibilité de reconstituer l'évolution des systèmes en identifiant au sein d'une même région différents stades d'évolution de l'exploitation agricole du milieu (Jouve & Tallec, 1994).

Ce type d'approche peut permettre de donner une signification régionale à des recherches menées localement. Or, précisément, la majorité des études sur la distribution spatiale des jachères a été réalisée à l'échelon local sur un ou plusieurs villages et rares sont celles qui permettent d'en évaluer la représentativité à l'échelon régional.

Une étude intéressante a cependant été menée dans les savanes cotonnières du Burkina par Serpantié *et al.* (2000), à un échelon que l'on pourrait qualifier de méso-régional.

Par comparaison d'une série chronologique de photos aériennes et d'images satellitaires, ces auteurs ont analysé la dynamique d'occupation de l'espace ; cette analyse a montré une occupation de l'espace très différenciée entre population bwa autochtone et migrants mossis. Les premiers ont préférentiellement mis en culture les terres sableuses de plateau, plus faciles à travailler bien que moins fertiles, tandis que les seconds ont colonisé les terres plus lourdes de bas-fonds, délaissées par les Bwas, mais favorables à la culture du cotonnier. Il en

a résulté des différences marquées dans la pratique de la jachère entre ces deux groupes de population.

Gestion sociale et foncière de la jachère

Le fonctionnement d'un système agraire se traduit par l'existence d'un certain nombre de règles implicites ou explicites que l'on peut apparenter à la notion d'*habitus* de Bourdieu, règles concernant notamment la gestion des moyens de production et des ressources. La jachère en tant que pratique technique et sociale n'échappe pas à ses règles et, en particulier, aux règles de gestion du foncier.

Dans les sociétés africaines, c'est le *droit de hache*, c'est-à-dire la défriche d'une terre par une famille ou un lignage qui, traditionnellement, conférait un droit de propriété sur cette terre, l'usufruit pouvant ensuite être octroyé, par des prêts de terre, à des occupants ultérieurs venus renforcer le lignage fondateur.

Dans ce système, si la surface cultivée par actif est du même ordre de grandeur d'une exploitation à l'autre, en revanche les réserves en terre constituées en partie par les jachères peuvent être très différentes entre les lignages fondateurs, premiers occupants de la terre, et ceux arrivés plus tard. La possibilité pour tous de cultiver la terre ne signifie pas pour autant l'égalité foncière (Jean, 1975 et 1991).

Dans ce mode de gestion du foncier, la mise en jachère d'une terre n'entraînait pas la perte des droits de propriété de celui qui l'avait défrichée, tant que les traces de cette mise en culture pouvaient être reconnues. Cette règle autorisait des jachères de longue durée permettant, dans les systèmes de défriche-brûlis, la régénération du couvert arboré.

Tant que la pression foncière a été peu importante, la gestion de la terre est restée collective, sous l'autorité des chefs de lignages fondateurs et chefs de terre, tandis que son exploitation était de la responsabilité des familles et des individus.

Ce mode de gestion et d'exploitation du foncier a été remis en cause sous l'effet des facteurs qui ont affecté l'ensemble du fonctionnement des systèmes agraires et en particulier l'accroissement démographique et la monétarisation des échanges consécutive au développement des productions marchandes.

Deux phénomènes sont venus accentuer cette modification du système de gestion traditionnelle de la terre : les migrations et la promulgation de nouvelles lois foncières par les États.

Lorsque la pression sur la terre est faible, l'accueil des migrants à la recherche de terre, non seulement sacrifie aux lois de l'hospitalité coutumière, mais renforce la force de travail du village et le prestige de ses chefs. Les choses changent quand cette pression augmente, notamment lorsque les mouvements de migration s'amplifient au point d'apparaître pour les autochtones comme une menace pour la préservation de leur patrimoine foncier (Leroy, 1995 ; Fanchette, 2000).

Face à cette menace, les autochtones réagissent de deux façons : en multipliant les prêts de terre aux parents et alliés (comme dit S. Jean, « c'est en cédant l'usage du droit que l'on prolonge ce droit ») et en étendant les défrichements pour marquer leur propriété sur la terre (Serpantié *et al.*, 2000). Ces deux stratégies se soldent en définitive par une diminution des jachères.

La promulgation de nouvelles réglementations foncières, comme la loi du Domaine national (L.D.N.) au Sénégal, vient compliquer la gestion du foncier et le statut des jachères.

Dans le droit traditionnel, la propriété d'une terre laissée en jachère est généralement rattachée au lignage qui l'a mise en culture antérieurement (aussi longtemps que la trace en demeure visible) ; en revanche, dans les réglementations modernes, le législateur, afin de

favoriser la mise en valeur des terres, a limité le droit de propriété sur une jachère à un nombre limité d'années. Cette réglementation nouvelle, non seulement est incompatible avec les systèmes de culture à jachère longue arborée, mais encore accentue les antagonismes entre autochtones et allochtones. Suivant le rapport des forces en présence, c'est telle ou telle juridiction qui s'impose comme cela a été montré en Casamance (Ndiaye & Boulet, 2000). Soit les autorités traditionnelles du villages demeurent fortes du fait de leur autorité morale et religieuse et de la supériorité numérique des autochtones par rapport aux migrants et c'est alors les règles coutumières qui sont appliquées et les nouvelles réglementations sont ignorées ; soit le rapport de force entre autochtones et migrants ou éleveurs peuls sédentarisés penche au profit de ces derniers, alors ils réclament l'application de la loi du Domaine national qui leur donne, sous certaines conditions, la possibilité de s'approprier des terres par la mise en culture.

Cette superposition de réglementations se complique encore quand la loi islamique s'ajoute aux juridictions précédentes, comme c'est le cas dans plusieurs régions du Sahel (Ouedraogo, 1995).

Dans ces conditions, on comprend la difficulté pour les États d'imposer une même loi foncière qui permettrait, entre autres, de définir un statut identique pour les jachères. On peut même penser qu'en l'état actuel des choses, une telle ambition est utopique. En l'absence de pouvoir fort, la loi ne peut s'opposer aux mœurs et aux coutumes. Or, en matière de foncier, ces coutumes sont variables suivant le stade d'évolution agraire ; celui-ci est loin d'être homogène au sein d'un même pays, voire d'une même région, du fait notamment des différences de densité de population. En conséquence, plutôt que de vouloir appliquer la même loi à cette diversité de situations, ne vaudrait-il pas mieux, une fois défini un cadre général pour la gestion des terres, déléguer aux populations de chaque région le contrôle social de leurs ressources foncières ?

Toujours est-il que l'évolution générale que l'on observe concernant la gestion du foncier en Afrique subsaharienne est la substitution progressive du « droit de houe » au « droit de hache ». Cette évolution étudiée par Fanchette (2000), en Haute-Casamance, influe directement sur la gestion des jachères : leur durée se raccourcit, ce qui leur fait perdre une grande partie de leur intérêt agronomique.

L'effet des nouvelles réglementations foncières se conjugue à celui du développement des cultures de rente pour aboutir à un affaiblissement des structures sociales et une segmentation des unités de production qui se répercutent sur la jachère : de collective, elle devient individuelle ; autrefois regroupée, elle a tendance à se morceler (Sene *et al.*, 2000).

Nous avons précédemment analysé l'organisation spatiale des territoires villageois et la place qu'occupe la jachère. Mais cette analyse ne saurait être complète si l'on ne prenait pas en compte l'effet de l'organisation sociale sur le mode d'occupation de l'espace. Un certain nombre d'études conduites en Afrique de l'Ouest (Jean, 1991 ; Lazarev, 1993 ; Ouedraogo, 1995) ont montré qu'il existait une correspondance entre l'organisation spatiale et l'organisation sociale du foncier à l'échelon des territoires villageois. Dans les villages récents, on observe une distribution du foncier en étoile, où chaque lignage occupe un secteur bien défini du territoire ; avec le temps, cette distribution a tendance à se brouiller du fait des échanges et des prêts de terre et de la recherche par les agriculteurs d'une diversification des terrains pour « tamponner » les aléas du climat ; cette évolution fait que dans les villages anciens, si les quartiers toponymiques sont facilement repérables, les quartiers lignagers, en revanche, se fractionnent pour aboutir à une mosaïque de parcelles foncières.

Enfin, signalons que la dissymétrie des droits sur le foncier entre les hommes et les femmes influe sur la pratique de la jachère. Ainsi, dans la région de Zabré, au Burkina Faso, lorsque la fertilité des terres tend à s'épuiser, les hommes cèdent leurs parcelles aux femmes avant de les mettre en jachère (Trimouille, 1994). Cette pratique que l'on retrouve dans bien

d'autres régions contribue au raccourcissement du temps de jachère dans les cycles culturaux en même temps qu'elle traduit l'inégalité d'accès au foncier entre les hommes et les femmes (Sorgho & Guire, 1998).

Rôles et fonctions de la jachère dans les systèmes agraires

Un système agraire, comme tout système agricole, peut être considéré comme un système de pratiques ; son fonctionnement résulte des façons de faire des agriculteurs, c'est-à-dire de leurs *pratiques*. Ces pratiques, qui peuvent être techniques, économiques ou sociales, traduisent les interactions entre un milieu bio-physique, une société et le patrimoine technique qu'elle a accumulé au cours de son histoire.

Parmi ces pratiques, nous avons vu que la jachère occupe une place particulière dans la mesure où elle permet de différencier les stades d'évolution des systèmes agraires. Cette place particulière s'explique, en partie, par les différents rôles que joue la jachère dans le fonctionnement des systèmes agraires (Jouve, 1993-a).

Ces rôles et fonctions sont bien connus ; outre le marquage d'une appropriation sur la terre dont nous venons de parler, la jachère peut être utilisée pour :

- gérer la fertilité des sols ;
- servir de parcours et procurer des ressources fourragères aux animaux ;
- fournir du bois de feu et du bois d'œuvre ;
- être source de pharmacopée et de nombreux produits de cueillette ;
- être un réservoir de biodiversité végétale et animale.

Une première observation, concernant ces différentes fonctions, est que leur importance respective change à mesure de l'évolution des systèmes agraires et de la transformation concomitante de la jachère. Ainsi, dans les systèmes de défriche-brûlis, le rôle de la jachère est surtout de restaurer la fertilité du sol alors que, lorsque la pression foncière augmente et la durée de la jachère diminue, on passe progressivement de la jachère buissonnante à la jachère herbeuse : la fonction fourragère a tendance à prendre le pas sur les autres fonctions.

Ces différentes fonctions de la jachère étant abordées plus en détail dans les autres parties de cet ouvrage, nous nous limiterons ici à situer leur rôle dans le fonctionnement des systèmes agraires et leur importance relative en fonction des stades d'évolution de ces systèmes.

La jachère, moyen de gestion de la fertilité des sols

Cette fonction apparaît dans un certain nombre d'études (De Wolf *et al.*, 2000) comme la première raison invoquée par les paysans pour justifier la pratique de la jachère. Plusieurs de ces études signalent qu'un bon indicateur de la nécessité d'abandonner la culture par suite d'une baisse de fertilité des sols est la présence de *Striga hermontica* (Serpantié & Floret, 1994 ; Douanio & Lacombe, 2000).

Pour bien analyser le rôle de la jachère dans la restauration de la fertilité des sols, un certain nombre de points nous paraissent devoir être précisés. La capacité productive d'un sol, c'est-à-dire sa fertilité, dépend de plusieurs composantes : son état physique, son statut minéral et organique (fertilité chimique), son activité biologique et le niveau de pression des adventices. La jachère joue sur ces différentes composantes, mais là aussi, de façon variable suivant sa nature ; ainsi, la protection du sol contre les érosions hydrique et éolienne suppose une jachère couvrant le sol. Les jachères travaillées peuvent au contraire accentuer ce type de dégradation physique des sols.

C'est surtout dans la gestion de la fertilité minérale et organique des sols que le rôle de la jachère doit être restitué par rapport aux autres moyens de gestion de cette fertilité (De Rouw,

1998). L'analyse comparée des systèmes agraires montre que les agriculteurs utilisent quatre grands moyens de gestion de la fertilité minérale et organique des sols :

- la *jachère longue arborée*, qui permet un recyclage des éléments minéraux entraînés par lixiviation dans les couches profondes du sol. Les arbres associés aux cultures (agroforesterie) peuvent jouer un rôle similaire (Peltier, 1993); ce premier moyen correspond à un *transfert vertical de fertilité*;

- l'*association de l'agriculture et de l'élevage*, lorsque celle-ci permet des *transferts horizontaux de fertilité* des terres de parcours (le *saltus*) vers les terres cultivées (l'*ager*) par la pratique du parage (Landais *et al.*, 1991). Cette pratique, très courante en Afrique subsaharienne, permet de concentrer les fèces des animaux sur les parcelles à fertiliser. Lorsque l'association agriculture-élevage ne se pratique qu'au sein de l'*ager*, on ne peut plus parler de transferts horizontaux de fertilité mais de recyclage de matière organique (résidus de culture) par le bétail;

- l'*introduction de légumineuses dans les rotations ou associations culturales*; les légumineuses, sous certaines conditions, enrichissent le sol dans l'élément le plus nécessaire à la croissance des plantes, et en même temps le plus labile, l'azote. Ces légumineuses peuvent être annuelles ou pérennes, herbacées, arbustives ou arborées (*Faidherbia albida*);

- l'*apport d'amendements minéraux (engrais) ou organiques* provenant de l'extérieur de l'espace concerné par la gestion de la fertilité (exploitation ou village).

Lors des premiers stades de mise en culture d'un milieu, lorsqu'il est possible de pratiquer des jachères longues arborées, celles-ci, associées à la pratique de l'abattis-brûlis, permettent d'assurer une gestion satisfaisante de la fertilité minérale et organique des terres pendant les premières années de culture, comme le montrent les recherches effectuées sur ces systèmes dans le Sud-Ouest de Madagascar (Milleville *et al.*, 2000).

Ceci étant, ces mêmes recherches confirment que dans ces systèmes de culture, ce qui conduit les agriculteurs à abandonner leurs cultures pour aller défricher de nouvelles terres, c'est d'abord l'envahissement par les mauvaises herbes. Lorsque, par suite de la pression foncière, le temps de culture s'allonge et que celui de la jachère se raccourcit, celle-ci perd de sa capacité d'extinction des mauvaises herbes; alors les agriculteurs malgaches recourent au feu pour détruire les graines d'adventices. Il leur arrive même d'introduire dans leurs successions culturales de courtes périodes de jachère (1 à 2 ans) afin de permettre une production de biomasse suffisante pour que le feu soit efficace dans le contrôle de l'enherbeement.

Au fur et à mesure de l'évolution des systèmes agraires, on assiste à une diminution du rôle de la jachère dans la gestion de la fertilité des sols au profit d'abord de l'association de l'agriculture et de l'élevage comme dans le village de Bandafassi, au Sénégal (Ndiaye & Boulet, 2000), ou dans l'Ouest du Kenya, où les exploitations qui disposent de troupeaux importants utilisent le fumier à la place de la jachère. En Haute-Casamance, on trouve des situations où sont associés les deux premiers moyens de gestion de la fertilité des sols; certains agriculteurs n'ayant pas de bétail invitent des éleveurs à venir avec leurs troupeaux pâturer leurs jachères.

Lorsque les jachères régressent, la propension des agriculteurs à utiliser des engrais s'accroît comme nous avons pu le constater dans la région de Maradi. Inversement, lorsque l'utilisation de l'engrais est facilitée par le développement des cultures de rente comme le coton, on observe une réduction, voire une disparition des jachères.

On voit bien que la jachère est un moyen de gestion de la fertilité des sols parmi d'autres, dont l'importance relative varie en fonction des stades d'évolution des systèmes agraires.

De même, le rôle de la jachère par rapport aux autres moyens de gestion de la fertilité des sols, à l'échelon d'un territoire villageois, varie suivant les différents systèmes de culture sur ce territoire (Dosso *et al.*, 1996). Dans le cas d'une structuration auréolaire de l'espace

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

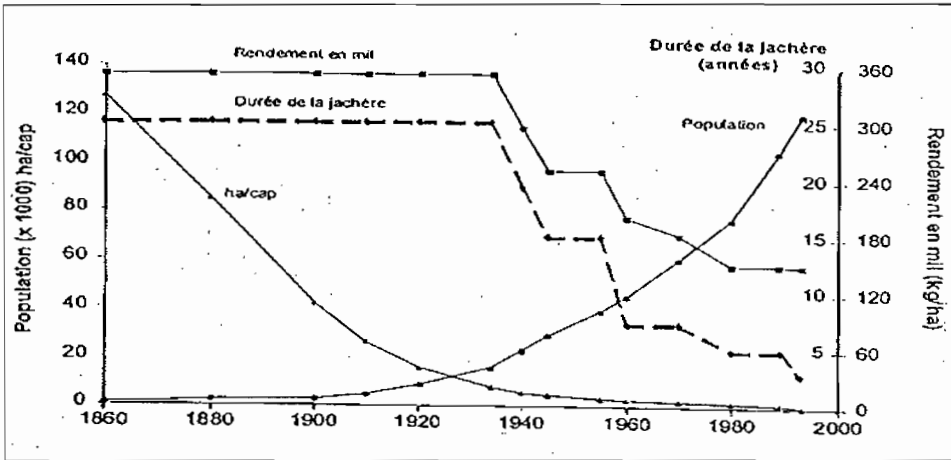


Figure 1. Évolution comparée de la croissance démographique de la durée des jachères et des rendements du mil au Zarmaganda au Niger (d'après Tockström, 1977).

assuré par la jachère longue sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'association agriculture-élevage. Cette association, à ce stade, du fait de la divagation des animaux et des risques de dégâts sur les cultures qui en résultaient, présentait plus d'inconvénients que d'avantages. On observe qu'à ce stade, en Afrique sahélo-soudanienne, la culture et l'élevage sont souvent pratiqués par des populations différentes et sur des territoires distincts. Avec le raccourcissement des jachères, résultant entre autres de l'accroissement démographique, l'association entre agriculture et élevage devient une pratique avantageuse à la fois pour les agriculteurs sédentaires (Wolofs, Bambaras, Mossis, Hawsas...) et les éleveurs transhumants (Peuls essentiellement). Pour les premiers, elle permet, par le recours à des contrats de fumure, de recycler leurs résidus de culture et de fertiliser leurs champs. Elle offre aux seconds des ressources fourragères durant la saison sèche après que les pâturages naturels plus septentrionaux ont été épuisés ; dans cette phase, les jachères, tout en étant appropriées, sont ouvertes au pâturage collectif en période de non-culture (vaine pâture).

Le grand changement dans cette évolution des rapports entre agriculture et élevage résulte à la fois de l'extension des cultures au détriment des jachères et des parcours, limitant l'espace disponible pour les troupeaux des éleveurs transhumants, mais surtout de l'apparition de l'élevage bovin au sein des exploitations des agriculteurs à la faveur, le plus souvent, de l'introduction de la culture attelée. Alors, de complémentaires, les relations entre agriculteurs et éleveurs deviennent conflictuelles, et plusieurs études locales témoignent de cette situation nouvelle et de ses conséquences (Fanchette, 2000 ; Nkamleu *et al.*, 2000).

Dans cette évolution marquée par le raccourcissement de sa durée, la fonction principale de la jachère change : de moyen de restauration de la fertilité des sols, elle devient principalement fourragère et sa gestion, de collective devient individuelle. Même dans ce cas, le propriétaire de la jachère ne peut espérer se réserver sa production fourragère qu'à la condition de la clôturer. Au cours de cette évolution, on est donc passé, dans un premier temps, de la dissociation de l'agriculture et de l'élevage, des espaces cultivés et des espaces pastoraux, à un stade d'association synergique entre agriculteurs sédentarisés et éleveurs transhumants. Désormais, on est entré dans une phase de compétition pour la terre et les ressources fourragères entre ces deux groupes de population, l'association entre agriculture et élevage se faisant alors à l'échelon de l'exploitation, les agriculteurs devenant éleveurs et

les éleveurs, en se sédentarisant, deviennent à leur tour agriculteurs (Adamou, 1990 ; Banoïn *et al.*, 1996).

On peut faire correspondre à cette évolution des rapports entre agriculteurs et éleveurs, une autre qui concerne les modes d'alimentation des troupeaux bovins et le rôle joué par la jachère. Dans les premières stades agraires, l'alimentation des troupeaux des éleveurs est essentiellement assurée par la transhumance. Ensuite, lorsque l'association agriculture-élevage se renforce, les sous-produits de culture, les jachères et les parcours périphériques aux zones cultivées assurent une grande partie des besoins des troupeaux ; avec l'accentuation de la pression foncière et la sédentarisation du bétail bovin, la compétition pour les ressources s'accroît : c'est alors que la jachère fourragère devient stratégique et que l'on voit apparaître des pratiques de récolte d'herbe dans les jachères (De Wolf *et al.*, 2000), ou même d'enrichissement de ces jachères par des plantes fourragères (Olina & Dugué, 2000). On ne peut s'empêcher de penser que, arrivé à ce stade, on n'est pas loin de passer au stade suivant, à savoir la culture des fourrages qui représente un changement qualitatif de première importance dans les systèmes agraires, comme ce fut le cas en Europe au xix^e siècle. Au Sahel, une conséquence de cette évolution agraire caractérisée par des relations de plus en plus conflictuelles entre agriculteurs et éleveurs, est le dysfonctionnement qui en résulte dans la gestion des ressources naturelles à l'échelon régional. Le fait que la plupart des études et recherches soient menées à l'échelon local explique que ces conséquences soient encore mal appréhendées.

La régression des parcours et des jachères consécutive à l'accroissement de la pression foncière n'a pas seulement comme conséquence l'exclusion des éleveurs transhumants de l'utilisation des ressources fourragères des territoires villageois (Marty, 1996). Elle les prive de base de repli pour leurs troupeaux en saison sèche ; sans cette base, ils ne peuvent exploiter, en saison humide, les ressources fourragères très abondantes et de grande qualité des parcours présahariens. Les conséquences de cette évolution que l'on observe actuellement, sont l'accentuation des conflits entre agriculteurs et éleveurs, la réduction, voire la disparition par leur mise en culture, des couloirs de circulation du bétail des transhumants, la sédentarisation des éleveurs et l'extension des défrichements encouragés, au Sénégal, par la loi sur le Domaine national (Fanchette, 2000). À terme, on peut se demander si cette évolution ne va pas se traduire par l'impossibilité de mettre en valeur les immenses ressources pastorales du Nord du Sahel.

Les autres productions et usages de la jachère

En plus de sa fonction fourragère et de son rôle dans l'entretien de la fertilité des sols, la jachère assure bien d'autres services liés à la fourniture de ressources naturelles dont les modes d'appropriation et d'exploitation constituent une des caractéristiques des systèmes agraires (Bernard, 1999).

Parmi ces ressources, il faut citer le bois de feu et le bois d'œuvre, les produits de cueillette (miel, fruits) et ceux utilisés dans la pharmacopée traditionnelle (Awaiss *et al.*, 1996).

Les droits d'accès à ces ressources ne se confondent pas avec les droits fonciers et, comme eux, ils évoluent en fonction de la pression sur la ressource, que cette pression provienne de l'accroissement démographique ou du développement des échanges marchands.

Dans un premier temps, lorsque la pression foncière est faible, on observe généralement une dissociation des droits sur la terre et des droits d'usufruit des ressources naturelles portées par cette terre ; mais, contrairement à la thèse de Hardin sur « la tragédie des communs », ce droit d'accès aux ressources de la jachère, non limité aux seuls propriétaires de la terre, ne signifie pas pour autant une absence de règle et de contrôle social concernant l'usage de ces ressources ; ainsi, chez les Senoufos de Côte-d'Ivoire, le pouvoir des chefs de terre (*tarfolos*) s'exerce aussi bien sur les terres laissées en jachère que sur les ressources

ligneuses et pastorales qui s'y trouvent (Bonetti, 1998). De même, au Niger, dans l'arrondissement de Mayahi, on trouve des « chefs de brousse » qui veillent sur l'exploitation des ressources naturelles des territoires villageois incluant les jachères.

Avec l'accroissement de la pression foncière, on voit apparaître différentes formes de restriction du droit d'usufruit sur les jachères ; ces restrictions peuvent concerner certaines espèces telles que les nérés (*Parkia biglobosa*) ou les karités (*Vitellaria paradoxa*), dont les fruits peuvent être réservés au propriétaire de la terre.

De même, lorsque le bois acquiert une valeur commerciale avec le développement d'un marché urbain, on observe une limitation de son ramassage aux seuls habitants du village (Bazile, 1998).

Ces restrictions vont de pair avec le renforcement de l'appropriation privée des terres ; elles ont donc tendance à être plus fortes dans les champs proches que dans les champs éloignés qui, par ailleurs, sont plus difficiles à surveiller.

Lorsque cette restriction touche les ressources pastorales, elle peut générer des conflits violents entre agriculteurs sédentaires et éleveurs transhumants, comme la région de Fillingué, au Niger, en a été le théâtre à plusieurs reprises (Jusserand, 1992).

Comme pour la gestion du foncier, la gestion des ressources naturelles et spécialement des ressources ligneuses, peut faire l'objet de réglementations différentes de la part des services forestiers et des communautés rurales qui traduisent une perception différente de la ressource et de son usage (Douanio & Lacombe, 2000). Une étude menée en Gambie (Bodian, 1997) montre que, pour les forestiers, une jachère de plus de cinq ans revient dans le domaine forestier et n'a plus de statut agricole, alors que, pour les populations locales, il ne s'agit que d'une jachère longue dont on attend du recru forestier qu'il entraîne l'extinction des adventices et reconstitue la fertilité du sol.

Ces différents usages de la jachère seront développés par ailleurs, aussi nous nous limiterons à en souligner quelques aspects :

- ces différentes ressources constituent des revenus d'appoint non négligeables dans certains villages (Bazile, 1998) ;
- leur rôle dans l'équilibre de la ration alimentaire, bien qu'encore mal appréhendé, n'est sûrement pas sans importance ;
- les jachères constituent un réservoir de bio-diversité, fortement menacé, mais qu'il convient de protéger (Fofana, 2000) ;
- les savoirs traditionnels attachés à ces ressources sont d'une grande richesse, aussi bien sur le plan phytoécologique que pharmaceutique ; elles constituent une partie du patrimoine culturel et technique des sociétés rurales qui est une des bases de leurs systèmes agraires.

Conclusion

Quels enseignements peut-on tirer de l'analyse des relations entre jachères et systèmes agraires ? Le premier de ces enseignements nous semble être que la caractérisation des états de la jachère, son influence sur le milieu bio-physique et, plus globalement, ses rôles et fonctions sont très dépendants du stade d'évolution des systèmes agraires ; aussi, tous les résultats de recherche portant sur cette caractérisation doivent, pour avoir tout leur sens, être resitués par rapport à cette évolution. Ceci plaide en faveur d'une analyse diachronique des effets et fonctions de la jachère.

S'il paraît important de prendre en compte l'évolution dans le temps de la pratique de la jachère, l'analyse de cette pratique montre aussi que, à l'échelon local, elle est loin d'être uniforme. Au sein d'un territoire villageois, il existe généralement plusieurs types de jachère.

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.

Références

- Abakar O., Ducros C. (1996). « Étude de l'agrosystème du village de GaKoudi pour l'élaboration d'un plan de développement villageois, arrondissement de Mayahi, Niger », in Jouve (éd., 1996) : pp. 76-94.
- Jouve Ph. (éd.) (1996). *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*, Actes du séminaire, Montpellier (France), 2-3 avr. 1996, Cnéarc, 145 p.
- Awaiss A., Illia M.H., Soumana I., Amoukou I.A. (1996). « Les ressources ligneuses et leur exploitation comme bois de feu et de service à Mayahi (Niger) », *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*, Actes du séminaire, Montpellier, 2-3 avr. 1996, Cnéarc : pp. 28-33.
- Bâ M.G. (1996). *Contribution des jachères aux relations agriculture-élevage à l'échelle d'un terroir villageois. Cas du village de Ticko dans le canton de Torodi (Niger)*, mém. D.I.A., Rabat-Niamey, Institut agronomique et vétérinaire Hassan-II-Cnéarc-Projet jachère-univers. A.-Moumouni (Faculté d'agronomie), 55 p. + annexes.
- Banoïn M. & Achard F. (1998). « Place des jachères dans les systèmes d'élevage et comportement alimentaire du bétail (Ticko, Sud-Ouest nigérien) », in Floret & Pontanier (éd., 1999) : pp. 99-110.
- Banoïn M. & Guengant J.-P. (1998). « Les systèmes agraires traditionnels nigériens dans l'impasse face à la démographie », in Floret & Pontanier (éd., 1999) : pp. 1-14.
- Banoïn M., Gueye C., Soumana I., Ali M. & Jouve Ph. (1996). « Péjorations climatiques et évolution des pratiques de transhumance en zone agropastorale sahélienne : Cas de l'arrondissement de Mayahi, au Niger », *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*, Actes du séminaire, Montpellier, 2-3 avr. 1996, Cnéarc.
- Bazile D. (1998). « Les revenus du bois-énergie dans la trésorerie des exploitations agricoles (terroir de Gouani, Mali) », in Floret & Pontanier (éd., 1999) : pp. 171-188.
- Beavogui F. & Ducros C. (1996). « Contribution à l'étude du système agraire de l'arrondissement de Mayahi au Niger par l'analyse des agrosystèmes villageois », *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*, Actes du séminaire, Montpellier, 2-3 avr. 1996, Cnéarc.
- Bernard C. (1999). *Structure, dynamique et fonctionnement des parcs agroforestiers traditionnels : Cas de Dolékaha. Nord Côte d'Ivoire. Nord Cameroun*, th. doct., univers. Paris-I, U.F.R. géogr., 338 p.
- Blanc-Pamard C. & Cambrezy L. (coord.) (1995). *Dynamique des systèmes agraires. Terre, terroir, territoire, les tensions foncières*, Paris, Orstom, (coll. *Colloques et séminaires*) : pp. 455-472.
- Bodian M. L. (1997). *La forêt de Kasila ne brûle plus : étude de la gestion d'une forêt communautaire en Gambie*, mém. D.A.T., Gambian German Forestry Project, Banjul, Cnéarc-Esat, 100 p. + annexes.
- Bonetti C. & Louppe D. (1998). « Les espaces non cultivés de Dolékaha, terroir du Nord de la Côte-d'Ivoire », in Floret & Pontanier (éd., 1999) : pp. 69-86.
- Bonetti C. (1998). *Caractérisation et typologie des espaces non cultivés : Jachères et friches pastorales sur le terroir de Dolékaha, Département de Korhogo – Nord Côte-d'Ivoire*, mém. fin d'études, Engref-Cnéarc-Cirad-Forêt-Idfor-D.F.O., 126 p. + annexes, (multigr.).
- Bonetti C. & Jouve P. (1999). *Jachères et systèmes agraires : Synthèse bibliographique*, Projet jachère Afrique de l'Ouest, CORAF, UE, 73 p.
- Boserup E. (1970). *Évolution agraire et pression démographique*, Paris, Flammarion, 206 p.
- Boulter F. & Jouve Ph. (1990). *Évolution des systèmes de production sahéliens et leur adaptation à la sécheresse*, R3S, Cirad-D.S.A., 143 p.
- Adamou D. (1990). *Étude des systèmes de culture en milieu « éleveurs » : Cas du territoire de Banh*, mém. Diat, Montpellier, Cnéarc-Cirad-D.S.A.-Inera, 107 p. + annexes, (multigr.).
- De Rouw A. (1998). « Comment assurer la production de mil : jachère ou parage ? », in Floret & Pontanier (éd., 1999) : pp. 139-152.
- De Wolf J., Niang A., Jama B. & Amadalo B. (2000). « Fallows in Western Kenya : presence, importance and role in the farming system », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 6-14.
- Dosso M., Micheau P. & Wango O. (1996). « La diversité des sols et pratiques de gestion de leur fertilité en zone sahélienne sableuse, Mayahi (Niger) », *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*, Actes du séminaire, 2-3 avr. 1996, Montpellier, Cnéarc : pp. 15-27.
- Douanio M. & Lacombe B. (2000). « La perception de la jachère chez les Bwaba de Mamou (Province des Balé, Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 15-21.

- Dugue P. (1990). « Les stratégies des paysans du Yatenga (Burkina Faso) face aux propositions d'aménagement des terroirs villageois », *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, n° 26 : pp. 1-14.
- Fanchette S. (2000). « Les modalités de la pratique de la jachère en Haute-Casamance : entre blocages fonciers et reconstitution de la fertilité », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 22-31.
- Floret Ch. & Serpantié G. (éd.) (1993). *La jachère en Afrique de l'ouest*, Atelier international, Montpellier, 2-5 déc. 1991, Paris, Orstom (coll. *Colloques et séminaires*), 494 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1999). *Jachère et systèmes agraires*, Actes de l'atelier, Niamey, 30 sept.-2 oct. 1998, Dakar, 212 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances*, Paris, John Libbey, 804 p. & 356 p.
- Fofana S. (2000). « Rôle de la jachère naturelle dans la conservation de la biodiversité et de la production : Fouta Djallon, Guinée Conakry », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 378-389.
- Jean S. (1975). *Les jachères en Afrique tropicale : Interprétation technique et foncière*, Institut d'ethnologie, Musée de l'Homme, Paris, 168 p.
- Jean S. (1991). « Jachères et stratégies foncières », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 47-54.
- Joet A., Jouve Ph. & Banoin M. (1998). « Le défrichement amélioré au Sahel une pratique agrofestière adoptée par les paysans », *Bois et forêts des tropiques*, n° 255 (1) : pp. 31-34.
- Jouve Ph. & David D. (1985). « Diversité spatiale et évolution des modes d'association de l'agriculture et de l'élevage dans la région de Maradi au Niger (zone Sahélienne) », *Cahiers de la recherche-développement*, n° 7 : pp. 54-64.
- Jouve Ph. & Tallec M. (1994). « Une méthode d'étude des systèmes agraires en Afrique de l'Ouest par l'analyse de la diversité et de la dynamique des agrosystèmes villageois », *Cahiers R. D.*, Montpellier, Cirad, n° 39 : pp. 43-59.
- Jouve Ph. (1988). « Quelques réflexions sur la spécificité et l'identification des systèmes agraires », *Les Cahiers de la recherche-développement*, n° 20 : pp. 5-16.
- Jouve Ph. (1993-a). « Usages et fonctions de la jachère en Afrique de l'Ouest et au Maghreb », *Cahiers Agricultures*, n° 2 : pp. 308-317.
- Jouve Ph. (1993-b). *La lutte contre l'aridité au Maghreb et au Sahel par l'adaptation des systèmes de production agricole*, doc., Cirad-Cnéarc, 170 p., (multigr.).
- Jusserand Y. (1992). *Contribution à l'étude d'un système agraire : le sud de l'arrondissement de Filingué (Niger). Projet de Gestion des Terroirs de Filingué (P.G.T.F.)*, mém. agron. trop., Montpellier, Cnéarc-Ensam, 71 p. + annexes, (multigr.).
- Landais E., Lhoste P. & Guerin H. (1991). « Systèmes d'élevage et transferts de fertilité », *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, Actes des rencontres internationales, Montpellier 10-14 déc. 1990, ministère de la Coopération et du Développement-Cirad : pp. 219-270.
- Lazarev C. (1993). *Vers un écodéveloppement participatif*, Paris, L'Harmattan, 274 p.
- Lericollais A. & P. Milleville (1993). « La jachère dans les systèmes agro-pastoraux Sereer au Sénégal », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 133-145.
- Lericollais A. (1970). « La détérioration d'un terroir Sob, en pays Sérèr (Sénégal) », *Études rurales*, trimestr., n° 37-38-39, Paris-La Haye, Mouton : pp. 113-128.
- Leroy E. (1995). « La sécurité foncière dans un contexte africain de marchandisation imparfaite de la terre », in Blanc-Pamard & Cambrezy (coord., 1995) : pp. 455-472.
- Leroy X. (1983). *L'introduction des cultures de rapport dans l'agriculture vivrière Sénoufo : Le cas de Karakpo (Côte-d'Ivoire)*, Paris, Orstom.
- Maiga O. (2000). « Facteurs socio-démographiques explicatifs de la crise des jachères en zone soudanienne nord au Mali », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 52-58.
- Malthus T. (1970). *An essay on the principle of population (1798)*, London, Penguin.
- Maringue V. (1992). *Étude de la diversité des agrosystèmes villageois dans le Fouta Djallon : République de Guinée*, mém., Montpellier, Cnéarc-Esat, 95 p.
- Marty A. (1996). « La gestion des terroirs et les éleveurs : un outil d'exclusion ou de négociation ? », *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*, Actes du séminaire, Montpellier (France), 2-3 avr. 1996, Cnéarc : pp. 53-60.
- Micheau P. (1994). *Caractérisation des ressources naturelles renouvelables de l'arrondissement de Mayahi au Niger : Dynamiques et modes de gestion*, mém., Montpellier, Cnéarc-Esat, 101 p., (multigr.).

- Milleville P. & Serpantié G. (1994-a). « Dynamiques agraires et problématique de l'intensification de l'agriculture en Afrique soudanienne sahélienne », *C. R. Acad. Agric.*, n° 80 : pp. 149-161.
- Milleville P. & Serpantié G. (1994-b). « Intensification et durabilité des systèmes agricoles en Afrique soudano-sahélienne », *Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*, séminaire régional, Dakar, 10-14 janv. 1994, F.A.O.-Cirad, CTA, Wageningen, Pays-Bas, 304 p. : pp. 33-45.
- Milleville P., Grouzis M., Razanaka S. & Razafindramby J. (2000). « Systèmes de culture sur abattis-brûlis et déterminisme de l'abandon cultural dans une zone semi-aride du Sud-Ouest de Madagascar », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 59-72.
- Mortimore M. (1993). « Population growth and land degradation », *Geo-journal*, vol. XXXI, n° 1 : pp. 15-21.
- Mourgues A. (1990). *Diversité des systèmes agraires du département de Kaffrine (Sénégal)*, mém. Stage, Montpellier, Isra-Cirad-D.S.A.-Cnéarc-Ensaia, 89 p. + annexes.
- Moussa B. (1998). « Évolution de l'occupation du sol dans deux terroirs nigériens : Bogodjotou et Ticko », in Floret & Pontanier (éd., 1999) : pp. 15-24.
- Ndiaye P. & Boulet J. (2000). « Organisation et dynamique des systèmes de production dans le terroir de Bandafassi (Sénégal) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 73-79.
- Nkamleu G.B., Kamajou F. & Gockowski J. (2000). « La pratique de la jachère en Afrique tropicale : Caractérisation comparée au Nigeria et au Cameroun », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 1-5.
- Olina J.-P. & Dugue P. (2000). « Utilisation des légumineuses pour l'amélioration des jachères de courte durée et la production de fourrages au Cameroun septentrional », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 561-568.
- Ouédraogo P.M. (1995). *Caractérisation et dynamique des pratiques foncières dans l'arrondissement de Mayahi au Niger*, mém. D.A.T., Cnéarc-Esat-faculté d'Agronomie de Niamey-P.D.R. de Mayahi-F.A.O.-Fenu, 81 p. + annexes, (multigr.).
- Pelissier P. (1953). « Les paysans sérères : Essai sur la formation d'un terroir au Sénégal », *Cahiers d'Outre-Mer*, vol. VI, n° 22 : pp. 105-237.
- Peltier R. (1993). « Les jachères à composantes ligneuses : caractérisation, productivité, gestion », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 67-92.
- Penelon A. (1992). *Place de l'élevage dans un cas de gestion de terroir de Siwaa. Facteur d'intensification agricole par l'association agriculture-élevage ou activité concurrente de l'agriculture sur l'espace encore disponible*, mém. fin d'études, Montpellier, Cnéarc-Eitarc, 67 p. + annexes, (multigr.).
- Raynaud C. (1980). *Recherches multidisciplinaires sur la région de Maradi*, univers. Bordeaux-II, 203 p.
- Sebillotte M. (1991). « La jachère : Éléments pour une théorie », *La jachère en Afrique de l'Ouest*, Paris, Orstom : pp. 89-111 (coll. *Colloque et séminaires*).
- Sène A., Dièye P.N. & Gningue M. (1998). « Pratiques et stratégies de valorisation de la jachère dans les systèmes agro-pastoraux (Haute-Casamance, Sénégal) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 113-119.
- Serpantié G. & Floret Ch. (1994). « Un mode de gestion des ressources en Afrique tropicale : la jachère longue. Regards différenciés sur une pratique en crise », *Comptes-rendus de l'académie d'Agriculture de France*, vol. LXXX, n° 8 : pp. 73-85.
- Serpantié G. (1993). « Rôles et significations de la jachère dans les systèmes de production agricoles en Afrique de l'Ouest : Problématique de son remplacement », *La jachère en Afrique tropicale*, Dossier Mab, Unesco : pp. 55-81.
- Serpantié G., Thomas J.-N. & Douanio M. (2000). « Évolution contemporaine de la jachère dans les savanes cotonnières burkinabé : Cas de Bondoukuy », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 80-91.
- Sigaut F. (1993). « La jachère dans les agricultures précontemporaines de l'Europe », *La jachère en Afrique de l'Ouest*, Orstom : pp. 113-123.
- Sorgho M.-C. & Guire D. (1998). « Femmes et jachère dans les systèmes agraires (zone centrale du Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd., 1999) : pp. 43-54.
- Tiffen M., Mortimore M. & Gichuki F. (1994). *More people, less erosion : environmental recovery in Kenya*, Chichester (U.K.), John Wiley, 311 p.

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-culturel, 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^{re} 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 constitutives 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 culturale*. 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 culturale* et de *durabilité*. La notion de *fertilité du milieu producteur* dépasse désormais la notion d'*aptitude culturale* 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 efficience 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 épiquée 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 épiquée, 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).

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 enveloppes), 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.

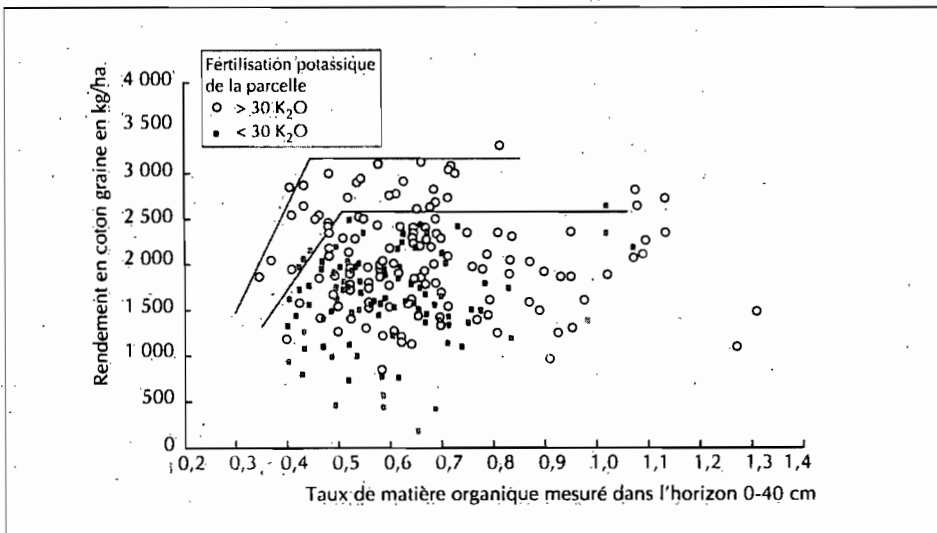


Figure 1. Rendement en coton graine en fonction du taux de matière organique et du niveau de fertilisation potassique du cotonnier (en unités par ha), avec courbes enveloppes, obtenu par enquête et expérimentations au Mali méridional (*d'après Crétenet et al.*, 1994).

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-limoneuse 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

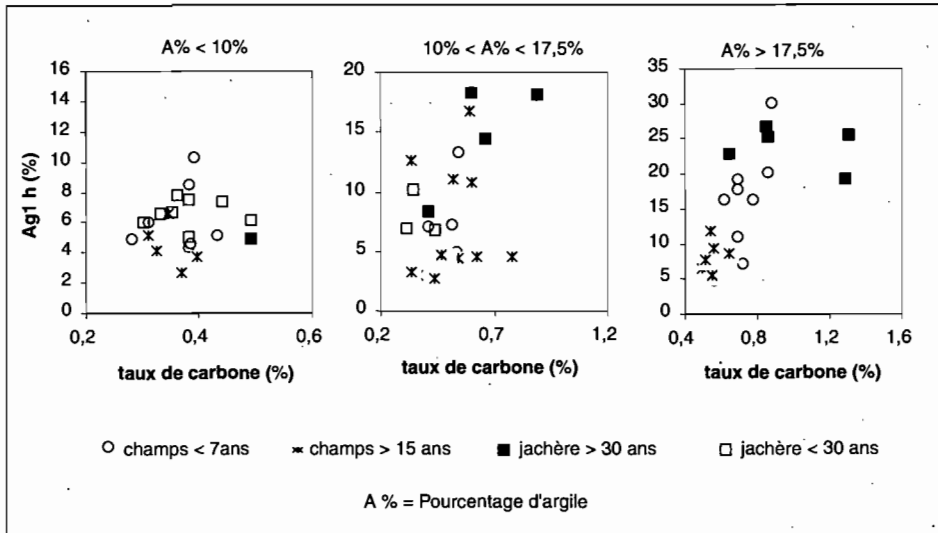


Figure 2. Agrégats stables supérieurs à 0,2 mm (après 1 heure d'agitation dans l'eau)(Ag1h) et taux de carbone dans des sols (0-20 cm) de parcelles de la région de Bondoukuy (Burkina Faso) (Ouattara *et al.*, 1997).

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 t.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 (Bremen, 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 moyen d'intrants, l'agriculture « écologique » perd de son efficacité avec la dégradation des terres (Bremen, 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 culturale et de prélèvement ou dans un système à faible intensité culturale.

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 culturale 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 (traîtée 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 lixiviés 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 enracinement 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.

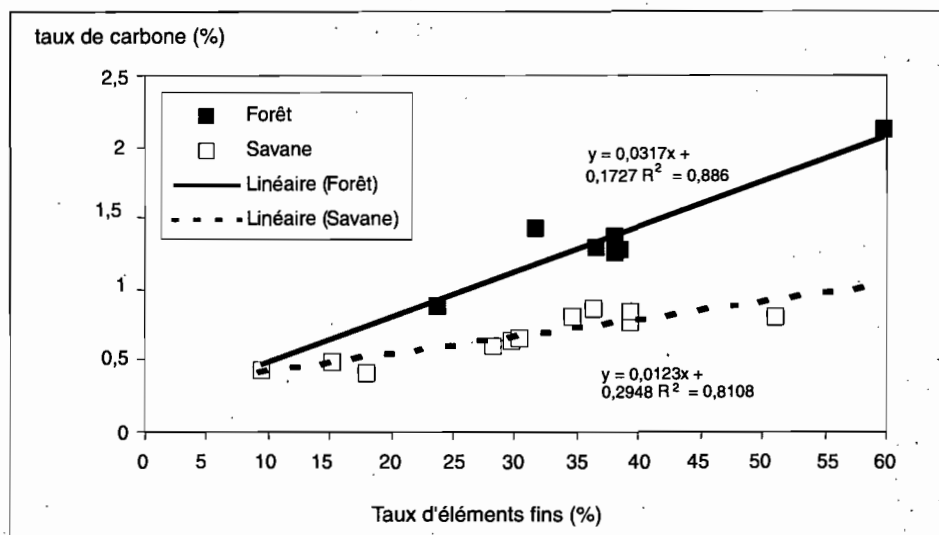


Figure 3. Relation entre carbone organique (0-20 cm) et taux d'éléments fins du sol en culture itinérante (essarts ou jachères) dans deux types d'écosystèmes en région de Bondoukuy (d'après Ouattara *et al.*, 1997).

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 culturaux (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 K₂O (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 t.ha⁻¹ en zone nord-soudanienne anthropisée; 15 t.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 soudanaises 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 thonningii* (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 (Dhillon, 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-cultureux.

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.

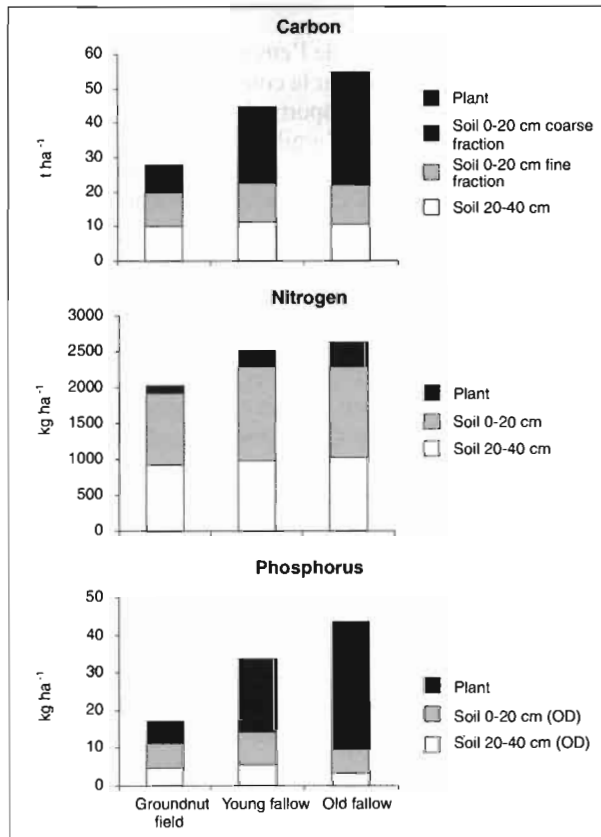


Figure 4. Stockage de carbone, d'azote et de phosphore dans le système sol-plante en culture itinérante sur sols sableux à Sare-Yorobana (Haute-Casamance), au cours des différents stades : cultures, jachères jeunes 0-9 ans, jachères âgées de plus de 9 ans (OD : phosphore assimilable, Olsen-Dabin ; d'après 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) : $dC/dt = H \cdot A \cdot K \cdot C$ avec $C = \text{MOS}$, $A = \text{apport organique frais}$, $dt = 1 \text{ an}$, 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 $k\% = 100 \cdot (1 - e^{(\log C_0 - \log C_n)/n})$; Piéri (1989).

suivant 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 cypéracée (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 holocерicea*) 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 (20-40 cm) 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 épigée. 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 écornées, 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 caulinale 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. gayanus* (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. gayanus* est mal éradiqué et persiste, on observe que la croissance du sorgho est impossible ; de même, après des jachères semées de graminées (*A. gayanus* 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 dégagée 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. gayanus*, Masse *et al.*, 1998) ; Abaddie *et al.* (2000) suggèrent que *A. gayanus* 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 climatique, « 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 (labour, 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 jachères 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

Banoïn & 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 pluviollessivage) 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-culturelle (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 ($2,3 \text{ g C.kg}^{-1}$) 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.

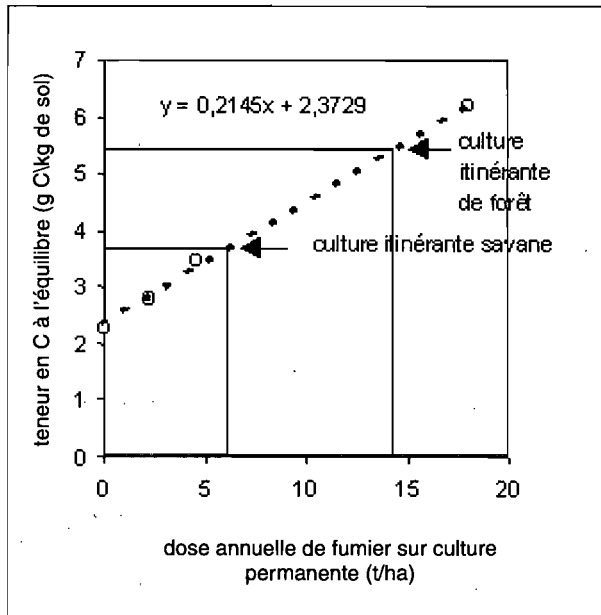


Figure 5. Relation entre niveau d'équilibre à 40 ans et dose de fumier avec références aux niveaux d'équilibre en culture itinérante pour la texture de Saria (Données issues de Pichot, 1981 ; Piéri, 1989., p. 332 ; Sédogo, 1993 ; Hien *et al.*, 1994).

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

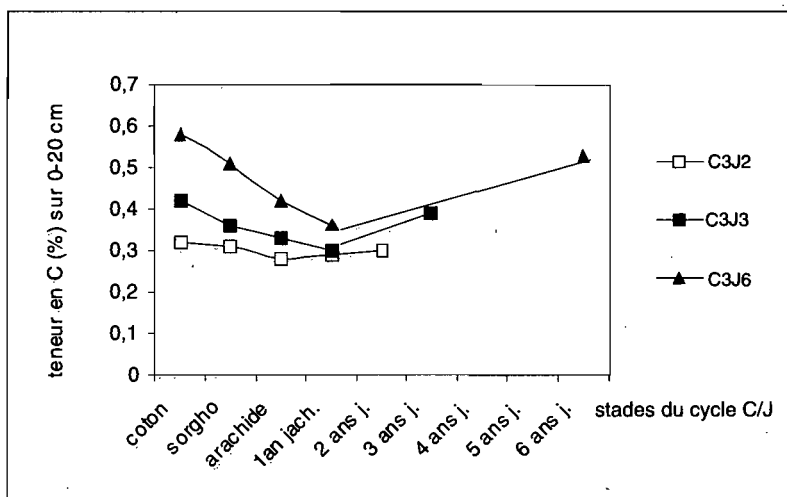


Figure 6. Évolution des teneurs en carbone du sol dans différents cycles cultures-jachère à *Andropogon gayanus* à courte rotation (essais de Samaru, Nigeria ; d'après Jones, 1971).

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 culturale 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 culturale 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 culturale 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 soudanaises

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 arbuscative, 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 arbuscatives 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, $P = 1\ 150\text{ mm}$), 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 ($0,8\text{ meq par }100\text{ g}$). 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 ($S/\text{CEC} = 43\text{ p. cent}$) 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 ferralitiques 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 avantageé 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 qui indique 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 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 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 Saria (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} , $2\text{--}3\text{ h.jour}^{-1}$). 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 $1,7\text{ p. cent}$ 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*, *Albizzia*) 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 duquel 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. gayanus*).

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. & Gnonhou 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. & Mokuwonye 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. & Sébillole 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 (Thysse 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., Torresleza A., Quintero N.B. (1997). « The distribution of organic carbon in major components of forests located in five life zones of Venezuela », *Journal of Trop. 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., Ganry 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 soudanaises 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. & Roelveland 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., Sanginga 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., Kamen 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 Chimay, 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. & Sarr 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.
- Milléville 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, 1635 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., Woomer 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.
- Moureaux 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 Woomer & 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 sahéliers. 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 sahélier. 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.
- Savadogo 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.

- 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, Cirdes : 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 Woormer & 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.

Jachère et biologie du sol en Afrique tropicale

Jean-Luc Chotte*, Robin Duponnois*, Patrice Cadet**, Amoncho Adiko***,
Cécile Villenave*, Constance Agbogba****, Alain Brauman*

L'écosystème du sol

Par définition, l'écologie désigne la science de l'habitat; après s'être intéressée aux espèces individuelles (auto-écologie), puis aux assemblages d'espèces (synécologie), elle a pris conscience de l'importance des interactions non seulement entre les espèces mais aussi entre les espèces et leur milieu; cette évolution de l'écologie vers une approche systémique, a donné naissance à la notion d'écosystème (Barbault, 1992). Diverses équations ont été proposées à l'appui de cette définition :

$$\text{Écosystème} = \text{biotope} + \text{biocénose}$$

où le *biotope* est le milieu qui héberge l'ensemble des populations; la *biocénose* (ou communauté) est l'ensemble des populations qui habitent un même milieu (la *population* est l'ensemble des individus d'une même espèce).

La systémique analyse les modalités selon lesquelles les propriétés des éléments (ici biotope et biocénose) et leurs interactions aboutissent à des propriétés globales nouvelles, non réductibles à la simple somme de leurs propriétés propres. Dans l'équation, le signe + est donc beaucoup plus qu'un signe additif. Tout système complexe est organisé en niveaux hiérarchisés : il fait partie d'un système plus vaste, il est composé de sous-systèmes. Le choix des différents niveaux d'observation et d'étude dépend des questions posées et des actions envisagées.

Cette synthèse résume les résultats, obtenus dans le cadre du programme *Jachère*, qui concernent l'écosystème du sol.

Le sol est traversé par des flux d'énergie et de matière dont la régulation est en grande partie assurée par les communautés vivantes qui le colonisent. Le sol assure la stabilité de ces échanges; il représente l'un des compartiments de l'écosystème à partir duquel il est possible, dans une rotation jachère-culture, de tirer les « bénéfices » de la phase de jachère.

* Laboratoire de biopédologie, Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

** Sasex-Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), Private Bag +02, Mount Edgecombe, 4300 Kwazulu Natal (Afrique du Sud).

*** C.N.R.A., station de recherche de Bimbresso, B.P. 1536, Abidjan (Côte-d'Ivoire).

**** Université Cheikh-Anta-Diop (Ucad), Département de biologie animale, Dakar (Sénégal).

La biocénose tellurique

La classification des organismes du sol selon leur taille est souvent adoptée, bien qu'elle n'ait aucune valeur systématique (Swift *et al.*, 1979); elle permet de différencier trois ensembles :

- les organismes dont la taille est supérieure au centimètre (macrofaune);
- les organismes dont la taille est comprise entre deux cents micromètres et un centimètre (microfaune);
- les organismes microscopiques (micro-organismes).

À ces organismes, on ajoute un quatrième ensemble : celui des organes souterrains des végétaux.

Organismes de la macrofaune

Les organismes de la macrofaune sont principalement représentés par des invertébrés. Certains de ces organismes construisent des structures organo-minérales de grande taille qui perdurent de longues périodes – de quelques mois à quelques années; ils développent, à des degrés divers, des relations mutualistes avec les micro-organismes dans leur tube digestif (rumen interne) et (ou) dans les structures qu'ils créent que l'on peut comparer à des rumens externes. En Afrique tropicale, ces organismes comprennent principalement les termites, les vers de terre et les fourmis. En raison de l'impact de leur activité sur les caractéristiques du milieu, ces organismes sont aussi appelés les *ingénieurs de l'écosystème*.

Les termites

En milieu tropical et en termes de densité, les termites constituent la pédofaune dominante (Wood & Sands, 1978). En raison des dégâts causés par certaines espèces sur les plantes vivantes (Agbogba & Roy-Noël, 1982) et de la capacité de minéralisation importante sur la matière organique de certains groupes, les termites sont perçus comme particulièrement nuisibles. Pourtant, ils participent activement à la structuration physique (aération, porosité, agrégation; Lobry de Bruyn & Conacher, 1994) et au maintien des propriétés édaphiques du sol à travers la dégradation de la matière organique (cellulolyse, ligninolyse), la concentration et le stockage des nutriments (azote, phosphore). Cette capacité de dégradation a une influence prépondérante sur la dynamique de la matière organique dans certains écosystèmes; ainsi, en savane sub-sahélienne, leur impact sur la décomposition des tissus végétaux est du même ordre que celui des herbivores (Lepage, 1981).

Les vers de terre

Les vers de terre sont abondants et constituent de fortes biomasses dans les situations où la pluviométrie dépasse les mille à mille cent millimètres. Dans les savanes de l'Afrique de l'Ouest, les vers de terre géophages, qui se nourrissent de la matière organique du sol, constituent souvent le groupe dominant, contrairement aux zones tempérées où les vers de terre épigés ou anéciques qui consomment essentiellement la litière, prédominent (Lavelle *et al.*, 1990). L'activité des vers entraîne des conséquences physiques sur le sol (structure) et biochimiques (dynamique de la matière organique; Blanchard *et al.*, 1999; Villenave, 1999); par leurs déplacements dans le sol et par les galeries qu'ils créent, les vers de terre induisent une augmentation de la macroporosité et de l'infiltration de l'eau; leurs déjections - les turricules -, déposés soit dans le sol, soit en surface, sont généralement plus riches en carbone organique, azote total et cations échangeables, que le sol environnant (Hauser *et al.*, 1997).

Organismes de la microfaune

Ce groupe comprend une faune très diverse, essentiellement composée de micro- et de macro-arthropodes (myriapodes, isopodes) et de nématodes. Contrairement à la macrofaune, les structures qu'ils produisent sont uniquement organiques ; elles ont des durées de vie plus courtes que celles qui sont issues de l'activité des macro-organismes (Giller *et al.*, 1997).

Les arthropodes

Les arthropodes vivent essentiellement dans la litière dont ils se nourrissent. Ces organismes fractionnent de façon active les matières végétales ; dans les structures qu'ils créent, une forte activité de la microflore se développe, qui est comparable au « rumen externe » des ingénieurs de l'écosystème.

Les nématodes

Les nématodes se nourrissent de matières organiques ; de nombreuses espèces sont des parasites des plantes ; généralement, leur action parasitaire se manifeste par la présence de cellules nécrosées sur, et dans, les racines des plantes qu'ils attaquent (Duponnois *et al.*, 1997) ; ces tissus nécrosés provoquent un dysfonctionnement du système racinaire qui se traduit par une réduction de sa capacité d'assimilation des éléments nutritifs et de l'eau et donc par un mauvais développement de la plante ; ces organismes ubiquistes sont les principaux responsables des dégâts causés aux cultures (Luc *et al.*, 1990).

Les formes libres des nématodes se nourrissent de micro-organismes et de débris organiques. Des études conduites en milieu tempéré ont clairement établi l'impact des nématodes bactériophages et fongivores sur la minéralisation de l'azote : ils participent pour près de vingt-cinq pour cent à la minéralisation totale (Verhoef & Brussaard, 1990). Ferris *et al.* (1997) indiquent que le taux de prédation d'un nématode est estimé à $2,5 \cdot 10^5$ cellules bactériennes par jour ; en outre, cette activité est localisée de préférence dans la rhizosphère et participe à la couverture des besoins azotés des plantes dans des sols où l'activité de la microflore est réduite (Ingham *et al.*, 1985 ; Ferris *et al.*, 1997) ; jusqu'à présent, et pour les sols tropicaux, cet aspect est très faiblement documenté.

Micro-organismes

La séparation traditionnelle entre règne végétal et règne animal ne peut pas s'appliquer aux micro-organismes dans la mesure où tous les intermédiaires peuvent être rencontrés, entre un organisme chlorophyllien immobile et un organisme mobile hétérotrophe. Les micro-organismes sont désormais considérés dans un règne distinct du règne végétal et du règne animal. L'absence de critères morphologiques qui permettent leur classification, liée au manque de fossiles, a longtemps empêché (avant 1960) toute classification bactérienne ainsi que toutes études des relations qu'elles pouvaient établir entre elles ou avec le milieu. Dans les années soixante-dix, l'utilisation de l'ARN-16S par Carl Woese (1987), comme molécule étalon de l'évolution, a enfin permis de placer les microorganismes par rapport aux autres règnes. Woese (1987) a ainsi défini trois domaines : Archea, Bacteria, Eucarya, au lieu des cinq précédents (plantes, animaux, protistes et champignons) où les procaryotes (organismes sans noyau) occupaient deux des trois embranchements ; de ce fait, la microbiologie est devenue à part entière une science du vivant où les inter-relations entre les communautés microbiennes et leurs relations avec le milieu peuvent être étudiées à l'aide des méthodes moléculaires. Dans cette synthèse, il nous paraît important de présenter brièvement quelques caractéristiques des groupes de micro-organismes étudiés dans le cadre du programme *Jachère* ; cette approche des communautés complète les résultats qui concernent les mesures de la biomasse microbienne totale.

Les bactéries diazotrophes

La productivité des systèmes agricoles repose en grande partie sur la disponibilité d'eau et de nutriments au sein desquels l'azote est un élément vital. Dans les milieux pourvus d'une réserve organique suffisante, l'oxydation microbiologique des composés organiques représente la principale source d'azote assimilable par les cultures (Chotte *et al.*, 1998); dans les milieux pauvres, les flux d'azote sont sous le seul contrôle des micro-organismes fixateurs; ces organismes sont équipés du matériel enzymatique qui leur permet de réduire l'azote atmosphérique en ammonium; parmi les organismes du sol, seules les bactéries sont dotées de cet équipement; ces organismes diazotrophes tirent l'énergie nécessaire à la réduction de l'azote atmosphérique des processus photosynthétiques (Cyanobactéries) ou de la dégradation hétérotrophe des composés organiques; dans ce dernier cas de figure, il s'agit d'organismes libres ou symbiotiques. Les résultats qui concernent les fixateurs symbiotiques ne sont pas présentés dans cette synthèse. Les cyanobactéries n'ont pas fait l'objet de travaux dans le cadre de ce projet. Cependant, leurs impacts doivent être soulignés, tant sur le cycle de l'azote et sur la fertilité chimique des sols que sur leurs propriétés physiques (Reynaud, 1987; Rogers & Burns, 1994; Cogle *et al.*, 1995). Les bactéries libres fixatrices appartiennent à de nombreux genres; elles sont majoritairement localisées dans la rhizosphère des végétaux (Döbereiner & Pedrosa, 1987); l'impact positif de leur activité sur le budget azoté des sols tropicaux d'Afrique de l'Ouest a déjà été noté (Roberston & Rosswall, 1986; Abbadie *et al.*, 1992); pour la savane de Lamto, ces auteurs estiment que vingt pour cent des entrées d'azote dans le sol sont dus à l'activité de ces micro-organismes; évidemment, ces apports, équivalents à douze kilogrammes d'azote par hectare, ne couvrent pas les besoins des cultures, mais ils représentent une source d'azote non négligeable.

Les champignons endomycorhizogènes

Parmi les micro-organismes qui évoluent dans la rhizosphère, il est généralement admis que les champignons endomycorhizogènes à arbuscules contribuent largement au développement des plantes (Bethlenfalvay & Linderman, 1992). Ces champignons sont observés dans des conditions écologiques très variées (Gerdemann & Nicolson, 1963); l'association symbiotique entre le champignon et la plante-hôte joue un rôle très important dans l'assimilation des nutriments par la plante (Harley & Smith, 1983); elle améliore l'absorption des éléments minéraux à faible mobilité comme le phosphore (Bolan, 1991), des micro-nutriments (Cooper, 1984), mais aussi de l'azote (Barea *et al.*, 1987; 1991). Le champignon intervient également dans la nutrition hydrique (George *et al.*, 1992) et il peut avoir une activité antagoniste contre divers pathogènes (Dehne, 1982; Duponnois & Cadet, 1994). Les hyphes qui colonisent le sol jouent un rôle non négligeable dans la formation et dans la stabilité des agrégats (Hamel *et al.*, 1997). Le symbiote fongique exerce une activité sélective vis-à-vis de la structure de la communauté végétale dans un écosystème (Francis & Read, 1994). Dans le sol, le champignon se trouve sous différentes formes de propagules (spores, hyphes ou morceaux de racines contenant des vésicules); parmi toutes ces formes de dissémination, les hyphes constituent la source principale d'inoculum (Sylvia & Jarstfer, 1992).

Les organes souterrains des végétaux

Le sol est également colonisé par les organes souterrains des végétaux, principalement par leurs racines. La présence de ces organes entraîne de multiples conséquences sur les autres communautés vivantes mais aussi sur les caractéristiques physico-chimiques des sols. Au cours de leur croissance, les racines exercent une pression sur les particules minérales qui entraîne leur réorganisation (Foster, 1986); conjointement, elles exsudent des composés organiques qui favorisent la formation d'agrégats. Ces produits racinaires représentent une des principales voies d'entrée de carbone organique dans les sols (Sauerbeck & Johnen,

1976). L'intensité de ces processus est particulièrement élevée dans la zone de sol située immédiatement au contact des racines, ou *rhizosphère*; cette zone héberge une grande diversité de micro-organismes; elle est aussi le siège d'une intense activité biologique (Bottner & Billes, 1987). À la mort des végétaux, la litière racinaire représente une source importante de nutriments. À Lamto (Côte-d'Ivoire), la majeure partie de l'azote utilisé par les herbacées de la savane en cours de régénération provient de la litière racinaire de la végétation précédente (Abbadie *et al.*, 1992).

Diversité taxonomique

La diversité des organismes qui colonisent le sol représente l'un des paramètres essentiels dans l'expression de sa « qualité ». Cette notion regroupe deux aspects (Fournier & Pichot-Viale, 1995) :

- le nombre d'espèces (diversité spécifique) ou de genres (diversité générique);
- la régularité ⁽¹⁾, modalité selon laquelle les individus, pour un nombre d'espèces ou de genres, se répartissent entre ceux-ci.

L'information apportée par la dernière notion est plus complète que celle qui est fournie par le nombre d'espèces; elle matérialise une approche intuitive : si parmi n espèces, l'une d'elles concentre la plus grande partie des individus, la communauté est peu diversifiée; au contraire, la communauté est qualifiée de « très diversifiée » si elle est constituée d'un grand nombre d'espèces moyennement abondantes. Plusieurs indices de diversité, qui intègrent ces deux notions, ont été proposés pour décrire la diversité d'un inventaire; l'indice de Gleason est fondé sur un modèle de distribution des individus en espèces; son estimation est fondée sur la croissance logarithmique du nombre d'espèces en fonction du nombre d'individus; cet indice illustre la vitesse avec laquelle le nombre d'espèces inventoriées croît lorsque le nombre d'individus augmente; avec cet indice, la diversité est grande si l'augmentation du nombre d'espèces est rapide. En revanche, l'indice de Shannon est indépendant du mode de distribution des individus; il est le produit de la régularité par le nombre d'espèces (en logarithme).

Le calcul de ces indices pose un certain nombre de problèmes pratiques. La notion du nombre d'individus n'est probablement pas la plus adaptée quand on s'intéresse à des espèces de tailles différentes comme celles qui colonisent le sol (vers de terre, bactéries); en outre, il est très rare de disposer des compétences taxonomiques pour identifier à un même niveau de précision (genre, espèces) l'ensemble des groupes rencontrés; en conséquence, les analyses portent très souvent sur un inventaire d'organismes de taille proche; on parle dans ce cas de la « diversité d'une collection » (diversité des insectes, etc.); la notion de biocénose est remplacée par celle de taxocénose; parfois, cette approche est encore « réduite » en prenant en compte le type de biotope; la diversité est plus écologique que taxonomique (diversité des insectes associés aux arbres, etc.); la caractérisation de la diversité des organismes d'un écosystème concerne donc plus un ensemble biologique ciblé que la totalité des organismes présents; l'étude de la diversité d'un tel ensemble doit absolument intégrer ses variations spatiales et temporelles.

Le biotope du sol

Notion d'habitat

Le sol est un biotope original à l'interface de la biosphère et de la lithosphère; il est formé de particules primaires, organiques et minérales, et secondaires issues de la transformation des constituants primaires. Ces composés s'associent entre eux à des degrés divers pour

(1) *Evenness* en anglais, traduit parfois par « équitabilité ».

former des agrégats dont la stabilité dépend de la nature des liaisons (attraction électrique, complexation...). Ces particules délimitent, entre elles, des pores dans lesquels gaz et liquide peuvent circuler. La taille et la forme des pores (Kilbertus, 1980; Elliott & Coleman, 1988), le potentiel hydrique de l'eau (Seifert, 1964; Dommergues & Mangenot, 1970; Linn & Doran, 1984), la présence de substrat (carbone assimilable, organismes proies...; Gray & William, 1971) les conditions d'aération (Letey *et al.*, 1980), sont autant de paramètres qui contrôlent la distribution et l'activité des organismes dans les sols. Hattori (1988) propose un modèle de répartition spatiale des bactéries différent de celui des champignons et des protozoaires, car les bactéries sont localisées de préférence dans les agrégats, alors que les champignons colonisent leur surface. Killham *et al.* (1993) enregistrent une minéralisation plus élevée lorsque les processus interviennent dans les pores d'une taille comprise entre six et trente micromètres, que dans ceux qui interviennent dans des pores de taille inférieure (moins de 6 µm). Les agrégats d'une taille supérieure à trois cents micromètres présentent une activité minéralisatrice (CO₂) et enzymatique plus intense que celle des agrégats d'une taille inférieure (Elliott, 1986; Gupta & Germida, 1988). Cependant, ces informations sur la localisation des principales fonctions du compartiment microbien sont très largement dépendantes de la nature (soluble *versus* particulaire) de la source énergétique accessible aux micro-organismes; dans une étude récente, Chotte *et al.* (1998) montrent que la dynamique des micro-organismes associés aux résidus végétaux est totalement différente de celle des organismes localisés dans des micro-agrégats stimulés par un apport organique soluble; les premiers trouvent, dans ces débris organiques, des composés assimilables qui leur permettent un développement rapide; ils sont cependant plus exposés aux contraintes extérieures (prédation) que les micro-organismes associés aux micro-agrégats, qui trouvent dans ces structures une niche protectrice; en conséquence, la contribution à la minéralisation totale du carbone des organismes associés à ces résidus est plus élevée que celle des organismes présents dans les micro-agrégats.

Ces travaux démontrent clairement que le sol est constitué d'une mosaïque de sites hétérogènes et que leurs contributions à son fonctionnement global peuvent être très différentes; ces notions de localisation et d'activité sont reprises dans la définition la plus « moderne » de la niche écologique, proposée par Odum; pour cet auteur, la niche écologique d'une espèce est à la fois son « adresse » et son rôle dans la chaîne trophique; cependant, tout comme la notion d'écosystème, les propriétés globales d'une niche résultent plus que d'une simple addition de ces deux termes; elles sont le fruit de leurs interactions. L'habitat constitue donc l'un des sous-systèmes de l'écosystème sol; il constitue un niveau d'observation et d'organisation privilégié des processus intervenant à l'échelle du sol.

Habitats microbiens

Le choix des différents niveaux d'organisation d'un écosystème en une série de sous-systèmes est pragmatique; il dépend des objets et des processus retenus; le sol est traversé par des flux d'énergie, accompagnés de flux de matière (azote minéral, etc.); les micro-organismes sont au centre des processus de transformation et de libération de ces flux; leurs habitats constituent donc un niveau d'organisation élémentaire. Beare *et al.* (1995) proposent un modèle conceptuel organisé autour de cinq niveaux; l'étude des habitats microbiens dans les sols en jachère s'est inspirée de ce modèle dont une version simplifiée est proposée; elle comprend trois habitats distincts, représentatifs des voies d'entrée et de stockage de l'énergie, représentée par le carbone organique, dans les sols :

- les résidus organiques : source importante de carbone dont la décomposabilité varie selon leur nature; ils sont le siège de l'activité des micro-organismes saprophytiques et des ingénieurs du sol; cet habitat peut être géré par des apports variables, en quantité et qualité; ce compartiment est représentatif des formations végétales et des systèmes de cultures;

- la rhizosphère : source importante de carbone dont la décomposabilité est supérieure à celle des résidus végétaux ; elle héberge des organismes saprophytiques, symbiotiques et des parasites ; les relations biologiques y sont donc intenses et diverses ; cet habitat peut être manipulé soit par l'introduction d'organismes, soit par la sélection d'un végétal ;

- l'agrégatosphère : compartiment de stockage des produits de la décomposition des diverses sources organiques ; l'association de la fraction argileuse et de ces constituants organiques colloïdaux participe à la création d'agrégats ; ce compartiment est soumis à la fois à l'influence des pratiques culturales et des ingénieurs du sol (par exemple les termites humivores).

Dans les travaux exposés, les habitats ont été isolés par une méthode de fractionnement physique, dans laquelle l'énergie de dispersion est très faible (Chotte *et al.*, 1994) ; cette méthode consiste en une série de tamisage et de centrifugation pratiquée sur un échantillon de sol non perturbé, préalablement disséqué manuellement ; cette méthode a déjà été testée dans d'autres travaux (Kabir *et al.*, 1994 ; Chotte *et al.*, 1998).

Sources d'hétérogénéité des habitats

De nombreuses études mettent l'accent sur les caractéristiques physico-chimiques des sols parmi les facteurs responsables de l'hétérogénéité des habitats ; cependant, ces facteurs, s'ils sont essentiels, ne sont pas les seuls à prendre en considération ; la présence d'organismes vivants est également une source d'hétérogénéité. Les vers de terre modifient profondément les caractéristiques physiques, organiques et biologiques du sol en creusant des galeries, en ingérant du sol et des résidus organiques (Barois & Lavelle, 1986 ; Martin, 1991 ; Blanchart *et al.*, 1993). L'action des termites et des fourmis est également importante parmi les organismes de la macrofaune ; par leur action de fouissage, de transport et d'accumulation dans leur nid, l'action des termites et des fourmis est similaire à celle des vers de terre ; Fall *et al.* (1999) montrent que la muraille interne d'une termitière de cubitermes possède une teneur en carbone organique cinq fois plus élevée que celle du sol témoin ; la teneur en argile, six fois plus élevée ; associées à ces variations, les auteurs notent une activité dénitrifiante et une biomasse microbienne plus élevées que dans le sol témoin.

À l'échelon du terroir ou de l'écosystème, la composition et la structure des communautés végétales constituent une nouvelle source d'hétérogénéité, au moins aussi importante que les précédentes. Les arbres exercent une influence significative sur l'ensemble des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols ; cet effet est particulièrement sensible sur les caractéristiques du sol situé sous la canopée ; il s'atténue lorsque l'on s'éloigne du tronc (Belsky *et al.*, 1993). Au Sénégal, Bernhard-Reversat (1982) mesure, *in situ*, sous couvert de *Acacia senegal*, des quantités d'azote minéral, principalement sous forme nitrique, significativement supérieures à celles qui sont enregistrées en plein champ ; cette stimulation des processus de décomposition de la matière organique ne permet pas d'expliquer l'accumulation mesurée de carbone sous les arbres ; plusieurs études expliquent ces résultats :

- soit par une production herbacée accrue sous la canopée en raison de conditions micro-climatiques favorables ;
- soit par la présence des racines qui participent activement aux cycles bio-géochimiques du carbone et des éléments nutritifs ;
- soit par la présence de micro-organismes fixateurs libres, présents dans la rhizosphère (Balandreau *et al.*, 1976) ou symbiotiques, associés aux racines des végétaux.

En conclusion, la prise en considération de l'hétérogénéité du sol ne peut être complète que si l'on s'intéresse aux paramètres responsables de cette variabilité à tous les échelons : de l'habitat microbien, à la formation végétale ou aux systèmes culturels, en passant par la parcelle ; cela est d'autant plus important :

- dans les systèmes à jachères, où les successions végétales peuvent être à l'origine d'apports carbonés qualitativement et quantitativement très variés ;

- dans les sols sableux d'Afrique de l'Ouest où les processus microbiologiques de transformation des ressources organiques prennent le pas sur la gestion des stocks organiques des sols ;

- dans les zones semi-arides où le fonctionnement biologique des sols est erratique et principalement confiné durant la saison des pluies.

Cette approche multi-échelons devrait permettre de préciser :

- les modalités (quels acteurs, quels habitats ?) du fonctionnement biologique des sols sableux ;

- les conditions agricoles (durée du cycle jachère-culture, espèces clés des jachères...) de l'apparition ou de la disparition des groupes biologiques et de leurs sites d'activités.

Cette démarche, mise en œuvre dans le programme *Jachère*, devrait permettre d'envisager de favoriser, par des pratiques adaptées, les groupes biologiques et les sites microbiens essentiels à la durabilité des systèmes agricoles.

Méthodes d'étude des organismes du sol

L'objet de ce chapitre n'est pas de dresser la liste exhaustive de l'ensemble des méthodes d'étude des organismes du sol mais d'en préciser les grands groupes et de présenter brièvement celles qui ont été utilisées dans le projet *Jachère*.

Méthodes directes

Les méthodes directes reposent sur l'observation, le comptage et l'identification des organismes ; elles sont particulièrement adaptées à l'étude de la macrofaune et de la microfaune ; ces méthodes nécessitent une étape préalable d'isolement, quels que soient la méthode et l'organisme étudié. Dans le cadre du programme *Jachère*, les analyses de macrofaune ont été réalisées selon la méthode TSBF [Tropical Soil Biology and Fertility] (Anderson & Ingram, 1992) ; pour chaque parcelle, dix monolithes (25 × 25 × 30 cm) de sols sont échantillonnés régulièrement le long d'un transect de cinquante mètres. Les organismes présents dans ces cubes sont ensuite triés manuellement sur le terrain ; ils sont dénombrés et pesés éventuellement. Les groupes taxonomiques les plus fréquents et les plus importants en terme de biomasse ou de densité sont les suivants : les annélides (vers de terre) et parmi les arthropodes, les hexapodes (adultes et larves de coléoptères, fourmis, termites), les myriapodes (chilopodes, diplopodes) et les arachnides (araneïdes).

De nombreux autres groupes de macro-invertébrés ont été collectés dont l'abondance était moindre ; ils ont été regroupés sous le terme générique de « autres ». Certaines études, fondées sur la méthode des quadrats (Eggleton *et al.*, 1995), ont permis de classer les termites par régime trophique en distinguant : les champignonistes, les humivores, les lignivores et les fourrageurs ; pour certains de ces groupes, l'espèce a été déterminée.

L'isolement des nématodes est réalisé selon la méthode de Seinhorst (1962) à partir d'échantillons de sol (d'environ 250 g de sol sec) les nématodes sont identifiés et comptés sous la loupe. Les micro-organismes sont dénombrés après culture en milieu liquide ou solide suite à l'ensemencement d'une solution d'extrait de sol ; le milieu utilisé dépend des organismes recherchés. L'inconvénient majeur de cette méthode réside dans l'hypothèse que chaque organisme viable est supposé développer une colonie alors que les organismes cultivables ne représentent qu'entre 0,1 et 10 pour cent de ceux du sol (Alexander, 1977 ; Amann *et al.*, 1995). Le comptage direct à partir de la solution de sol, après coloration de

l'ADN microbien par un composé fluorescent, pallie en partie ce biais. Les deux méthodes ont été utilisées dans les travaux cités.

Méthodes indirectes : dosage de composés spécifiques

Les méthodes indirectes sont tout particulièrement adaptées à l'étude des micro-organismes ; elles n'ont pas pour objectif de les dénombrer mais d'évaluer leur biomasse à partir d'un composé que l'on estime commun à tous les organismes. Les méthodes les plus répandues concernent le dosage des constituants des parois et des membranes, des constituants nucléiques ou de l'A.T.P. (pour une revue des méthodes, voir Nicolardot *et al.*, 1982) ; la méthode de fumigation-extraction (Amato & Ladd, 1988) appartient à cette catégorie ; elle a été retenue dans le cadre du programme *Jachère* ; la biomasse microbienne est estimée à partir de la quantité d'azote libéré par hydrolyse des protéines des parois des micro-organismes tués par des vapeurs de chloroforme ; elle est exprimée en microgrammes de carbone par gramme de sol ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de sol).

Mesures des activités microbiennes

Les mesures des quantités de carbone minéralisé par un sol sont à l'origine des premières méthodes d'estimation de la biomasse microbienne des sols (Jenkinson & Powlson, 1976). Dans les travaux conduits dans le programme *Jachère*, la méthode du fumigation-extraction (*cf. supra*) a été privilégiée, car plus sensible et donc mieux adaptée aux sols sableux ; de plus, une série de mesures d'activités enzymatiques a été réalisée (phosphatase, B-glucosidase, N-acétylglucosamine, amylase et xylanase) ; ces méthodes sont décrites en détail dans la littérature (Tabatabai, 1982). Pour les champignons mycorhiziens, le potentiel infectieux mycorrhizogène des sols a été mesuré selon le protocole décrit par Plenchette *et al.* (1989). L'activité potentielle de fixation libre de l'azote a été estimée par la mesure de la réduction de l'acétylène (Turner & Gibson, 1980) ; cette mesure a été appliquée sur les habitats microbiens isolés des sols de jachère.

Biologie des sols des jachères soudaniennes : cas du Sénégal

Le terme *jachère*, utilisé ici, exclut les zones où les sols sont laissés nus sans végétation. Ce chapitre concerne les travaux conduits pour la plupart dans ce que Fournier *et al.* (2000) nomment le « centre d'endémisme soudanien » ; dans cette région, les précipitations annuelles varient entre cinq cents et mille quatre cents millimètres depuis le Nord, où elles sont unimodales, jusqu'au Sud, où elles tendent vers la bimodalité (White, 1986). Au Sénégal, les sites étudiés sont localisés à Sonkorong ($13^{\circ} 46' \text{ N}$; $15^{\circ} 32' \text{ O}$), pour la zone septentrionale, et à Saré Yorobana ($12^{\circ} 49' \text{ N}$; $14^{\circ} 53' \text{ O}$), pour la partie méridionale. Les sols appartiennent à la classe des sols à sesquioxydes, caractérisés par une richesse en sesquioxydes de fer individualisés. Les faciès présentent une grande diversité liée à la nature du matériau, aux conditions topographiques et à l'intensité de l'érosion. Les sols étudiés sont des sols ferrugineux lessivés (Niang, 1995). À Saré Yorobana, ces sols se distribuent le long d'une toposéquence fréquemment rencontrée en Afrique de l'Ouest : sols rouges, sols faiblement ferrallitiques de plateau et de haut de versant, sols ferrugineux puis sols beiges (Colleuille *et al.*, 1994) ; ce sont des sols profonds ; la cuirasse n'apparaît qu'en bordure de plateau et en rupture de pentes. À Sonkorong, cette toposéquence est plus rare. Les sols sont tronqués, souvent remaniés et moins profonds.

Les études présentées dans ce chapitre ont été réalisées sur des parcelles expérimentales mises en place dans le cadre du programme (Diatta, 1994) ; elles ont été conduites en mode

synchrone, c'est-à-dire à partir de prélèvements réalisés simultanément sur des jachères d'âges différents. Des situations représentatives des principaux faciès végétaux ont été choisies. La nomenclature adoptée dans la présentation des résultats est par exemple J5a ou J5p :

- J pour *jachère* ;
- 5 pour l'âge de la jachère (en années) ;
- a ou p pour définir le mode de gestion de la jachère : anthropisé ou protégé.

Abondance des organismes

Macrofaune

Macrofaune totale

La macrofaune du sol a une distribution agrégée qui contribue à une forte variance des densités estimées. Les biomasses enregistrées dans les deux zones étudiées au Sénégal sont comprises entre 16,1 et 52,8 grammes par mètre carré. De fortes biomasses sont trouvées dans les jeunes jachères (un an) ainsi que dans les jachères âgées (jachères de plus de 15 ans à Sonkorong ; jachères de plus de 10 ans à Saré Yorobana). Les densités de macro-organismes sont comprises entre quatre cents et deux mille cinquante individus par mètre carré, sans relation stricte avec l'âge de la jachère ; les jeunes jachères présentent une variabilité très importante.

Les groupes les plus abondants sont les termites et les fourmis (tableau I). À Sonkorong, les densités de termites augmentent avec l'âge de la jachère de cent quatre-vingt-douze à cinq cent quatre-vingt-douze individus par mètre carré alors que les densités de fourmis sont maximales dans la jachère de dix ans (176 individus.m⁻²). Les termites représentent sur ce site au minimum quarante-quatre pour-cent de la densité totale. L'abondance des autres groupes (coléoptères, myriapodes, vers de terre, et autres invertébrés) tend à augmenter avec l'âge de la jachère. À Saré Yorobana, les densités de termites sont comprises entre trois cent cinquante-neuf et mille cent onze individus par mètre carré ; ils représentent entre cinquante-quatre et soixante-dix-sept pour cent du nombre total de macro-invertébrés (si l'on excepte la parcelle de jachère de 1 an). Les densités de termites sont plus élevées dans les parcelles âgées que dans la parcelle de moins de dix ans. Les fourmis ont également des abondances relatives élevées ; leur densité ne varie pas avec l'âge de la jachère. La densité de vers de terre est comprise entre quarante-quatre et cent vingt-cinq individus par mètre carré. Dans les deux sites, les densités de vers de terre sont plus élevées dans les jachères âgées (ou protégés) que dans les jeunes jachères.

Les vers de terre

Les vers de terre ont été séparés en deux groupes fonctionnels, les vers de terre épigés, qui vivent principalement dans la litière et s'en nourrissent, et les vers de terre endogés géophages, qui vivent dans le sol et se nourrissent de sa matière organique. À Sonkorong, les peuplements sont dominés par les vers épigés alors qu'à Saré Yorobana les vers endogés ont une abondance relative supérieure (figure 1). La densité totale de vers s'accroît avec l'âge de la jachère. À Sonkorong, cette augmentation s'accompagne d'un accroissement simultané de la densité des deux groupes ; cependant, la proportion relative de vers endogés augmente avec l'âge de la jachère. À Saré Yorobana, les densités de vers de terre endogés sont particulièrement importantes dans les jachères âgées de dix et de quinze ans ; en revanche, les vers épigés augmentent dans les jachères de plus de dix ans.

En biomasse, les vers de terre dominent les peuplements de macro-invertébrés ; à Sonkorong, ils représentent entre soixante et quatre-vingt-onze pour cent de la biomasse totale (14,5 g.m⁻² et 38,4 g.m⁻²) ; à Saré Yorobana, de cinquante-deux à quatre-vingt pour cent de la

Tableau I. Densité et abondance relative des principaux groupes de macro-invertébrés du sol.

Sites	Jachères		Coléoptères		Vers de terre		Fourmis		Myriapodes		Termites		Autres		Σ
	Âge	Situation	Densité	Abondance relative	Densité	Abondance relative	Densité	Abondance relative	Densité	Abondance relative	Densité	Abondance relative	Densité	Abondance relative	
Sonkorong	1	a	59	16	28	7	16	4	29	16	192	50	26	7	100
			[11]		[25]		[6]		[18]		[76]		[5]		
	10	a	107	15	55	7	176	25	29	4	309	44	34	5	100
			[23]		[19]		[69]		[9]		[144]		[11]		
	15	a	131	13	67	7	162	16	80	8	534	52	42	4	100
			[20]		[22]		[116]		[18]		[260]		[11]		
	15	p	66	6	129	11	70	6	157	14	592	52	126	11	100
			[11]		[34]		[30]		[89]		[254]		[24]		
Saré Yorobana	1	a	69	3	44	2	1525	74	32	2	359	17	41	2	100
			[16]		[17]		[854]		[12]		[285]		[12]		
	10	a	46	3	125	9	106	7	33	2	1111	77	29	2	100
			[10]		[29]		[60]		[8]		[352]		[6]		
	15	a	64	7	120	13	94	10	22	2	571	63	35	5	100
			[16]		[24]		[38]		[6]		[260]		[9]		
	15	p	125	10	103	8	248	19	53	4	699	54	64	5	100
			[46]		[29]		[219]		[22]		[260]		[12]		

Légende : âge : en années ; situation : a, anthropisée ; p, protégée ; densité : nombre d'individus par mètre carré (ind.m^{-2}) ; Abondance relative : % $\Sigma \text{ ind}$

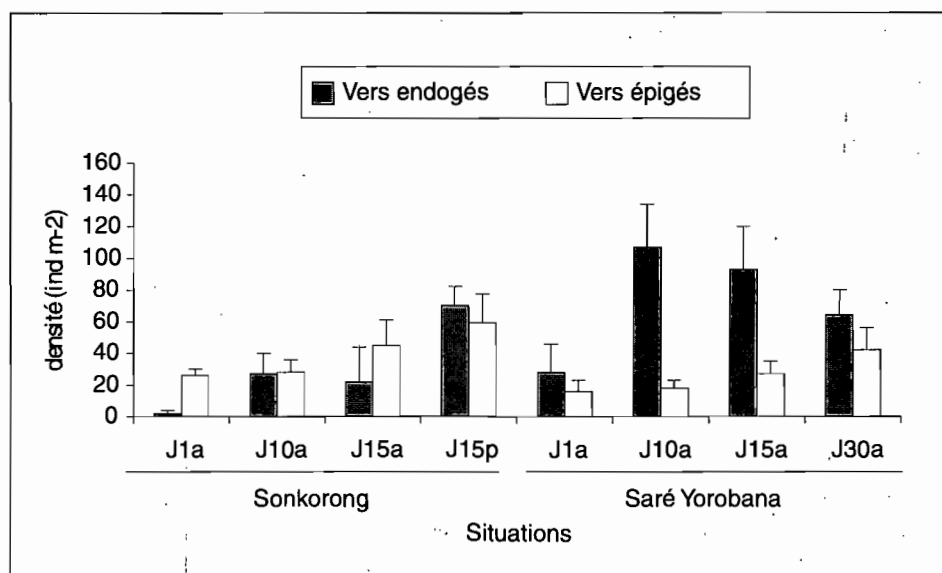


Figure 1. Densité des vers de terre endogés et épigés dans les différentes jachères (Sénégal).

biomasse totale (6,2 à 38,6 g.m⁻²) ; ces fortes biomasses sont principalement liées aux vers épigés dont le poids moyen par individu est très supérieur à celui des vers endogés.

Les termites

Les termites constituent sur l'ensemble des jachères étudiées la pédofaune dominante du point de vue de la densité ; celle-ci varie beaucoup plus à Saré Yorobana qu'à Sonkorong (tableau II). En fin de saison des pluies, la densité des termites augmente significativement, sauf dans les jachères de un et de dix ans de Saré Yorobana ; sur ce site, l'effet de l'âge des jachères n'est significatif qu'en fin de saison des pluies ; à cette date d'échantillonnage, les densités enregistrées dans la jachère de trente ans sont significativement supérieures à celles des autres jachères. Comme les termites ne constituent pas un groupe uniforme du point de vue écologique, la simple mesure de leur densité totale peut masquer de profondes variations de répartition des différents groupes trophiques dont l'impact sur la jachère peut être radicalement différent (Brauman & Fall, 1998) ; les principaux groupes trophiques ont donc été caractérisés (Sarr *et al.*, 1998 ; Fall *et al.*, 1999).

Tableau II. Densité totale des termites (ind.m⁻²).

Jachères anthropisées	Sonkorong						Saré Yorobana			
	2 ans		18 ans		1 an		10 ans		30 ans	
	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.
Début saison des pluies	583	978	581	833	132	168	211	199	80	85
Fin de saison des pluies	993	1815	858	1064	115	186	136	90	481	497

Les termites champignonnistes représentent le groupe trophique dominant (36 à 79 p. cent), à l'exception cependant de la jachère protégée de Sonkorong, où les termites humivores sont plus fréquemment observés. La fréquence des termites champignonnistes est surtout élevée dans la jachère jeune (79 p. cent dans la jachère de 1 an anthropisée, à Saré Yorobana) et dans la jachère ancienne anthropisée (58 p. cent dans la jachère de dix-sept ans, à Sonkorong). L'effet saisonnier semble peu marqué sur ce groupe trophique ; on observe néanmoins une diminution sensible de sa fréquence d'apparition dans la jachère ancienne en défens (36 p. cent dans la jachère de 17 ans protégée) ou peu perturbée (49 p. cent dans la jachère de 10 ans anthropisée, à Saré Yorobana).

Le second groupe trophique le plus fréquemment observé est le groupe des termites humivores. Ils sont particulièrement fréquents dans les jachères âgées, à Saré Yorobana, et dans les jachères protégées, à Sonkorong où ils peuvent représenter près de la moitié des espèces échantillonnées (45 p. cent pour la jachère de 17 ans protégée à Sonkorong). La période d'échantillonnage a peu d'effet sur la fréquence des termites humivores.

Les termites lignivores représentent le second groupe trophique dans la jachère récente (1 an, anthropisée) de Saré Yorobana ; la persistance d'une biomasse ligneuse élevée dans ce site explique très probablement ce résultat (Kaïre, 1996). Ce groupe trophique semble sensible à la saison d'échantillonnage comme en témoigne la réduction importante du nombre d'espèces entre la fin de la saison des pluies et le début de la saison sèche.

Les termites fourrageurs, représentés exclusivement par le genre *Trinervitermes*, semblent représentatifs des jachères jeunes à Sonkorong ; en revanche, à Saré Yorobana, ce groupe est indifférent à l'âge de la jachère.

Les nématodes

La composition spécifique des communautés nématologiques présente de fortes similitudes du point de vue qualitatif entre les sites de Sonkorong et ceux de Saré Yorobana (tableau III). Les espèces rencontrées correspondent aux espèces les plus répandues dans la région. Le peuplement annuel moyen de nématodes est estimé à vingt-deux mille deux cent soixante individus par décimètre cube de sol. Il est composé de (Pate *et al.*, 1995) :

- soixante-quinze pour cent de nématodes non-phytoparasites ;

Tableau III. Abondance relative à l'effectif total et à celui du groupe trophique correspondant des taxa nématologiques dans les différentes situations de Sonkorong et Saré Yorobana (Pate *et al.* 2000).

Groupes trophiques et taxa	Sonkorong		Saré Yorobana	
	Abondance relative à l'effectif total	Abondance relative à l'effectif du groupe trophique correspondant	Abondance relative à l'effectif total	Abondance relative à l'effectif du groupe trophique correspondant
Nématodes libres	76,50		80,70	
Nématodes fongivores	9,70	100,00	12,90	100,00
<i>Filenchus</i>	6,00	62,60	10,70	82,90
<i>Ditylenchus</i>	2,90	30,40	1,90	15,00
<i>Aphelenchus</i>	0,80	7,00	0,30	2,10
Phytoparasites majeurs	13,80	100,00	6,40	100,00
<i>Scutellonema cavenessi</i>	3,10	22,90	0,40	6,10
<i>Helicotylenchus dihystrera</i>	3,00	21,90	1,90	29,40
<i>Tylenchorhynchus gladiolatus</i>	2,60	18,80	0,60	10,00
<i>Pratylenchus pseudopratensis</i>	1,60	11,40	0,80	13,00
<i>Tylenchorhynchus mashoodi</i>	1,60	11,30	0,50	7,90
<i>Gracilacus parvula</i>	1,10	7,80	0,04	0,60
<i>Trichotylenchus falciformis</i>	0,60	4,20	0,03	0,50
<i>Tylenchorhynchus avaricus</i>	0,08	0,60	0,01	0,20
<i>Xiphinema</i> spp.	0,06	0,50	0,60	8,80
<i>Tylenchorhynchus ventralis</i>	0,04	0,30	0,01	0,10
<i>Aphasmatylenchus variabilis</i>	0,03	0,20	0,10	1,60
<i>Criconebella curvata</i>	0,01	0,10	0,10	2,20
<i>Rotylenchulus</i> spp.	-	0,01	0,90	13,80
<i>Longidorus</i> spp.	-	0,01	-	-
<i>Triversus annulatus</i>	-	0,00	0,01	0,10
<i>Hemicyclophora belemnisi</i>	-	0,00	0,10	2,00
<i>Tylenchorhynchus sulcatus</i>	-	0,00	-	-
<i>Aorolaimus macbethi</i>	-	-	0,10	2,00
<i>Helicotylenchus africanus</i>	-	-	0,06	1,00
<i>Meloidogyne</i> spp.	-	-	0,04	0,60

Abondance relative à l'effectif total : % ; abondance relative à l'effectif du groupe trophique correspondant : groupe (%)

- dix pour cent de nématodes phytoparasites mineurs ;
- quinze pour cent de nématodes phytoparasites majeurs.

Au moins vingt-trois espèces de nématodes phytoparasites ont été identifiées dans les jachères et dans les champs, auxquelles on peut ajouter cinq espèces de *Ditylenchus* plus probablement fongivores. À Sonkorong, six espèces occupent plus de cinq pour cent du peuplement et trois espèces (*S. cavenessi*, *H. dihystra* et *T. gladiolatus*) représentent près de soixante-quatre pour cent de ce peuplement ; à Sare Yorobana, sept espèces occupent plus de cinq pour cent du peuplement et une seule (*H. dihystra*) occupe près de trente pour cent de ce peuplement.

Aucune variation significative du nombre total des nématodes phytoparasites n'est enregistrée entre les différentes situations (culture et jachères) ; en revanche, la structure spécifique des peuplements de nématodes phytoparasites évolue avec l'âge des parcelles et selon leur mode de gestion (en défens *versus* anthropisée ; figures 2 et 3) ; en outre, les espèces abondantes dans les sols des champs cultivés et reconnues comme pathogènes disparaissent au profit d'espèces moins pathogènes. À Sonkorong, cette évolution est sensible dans les

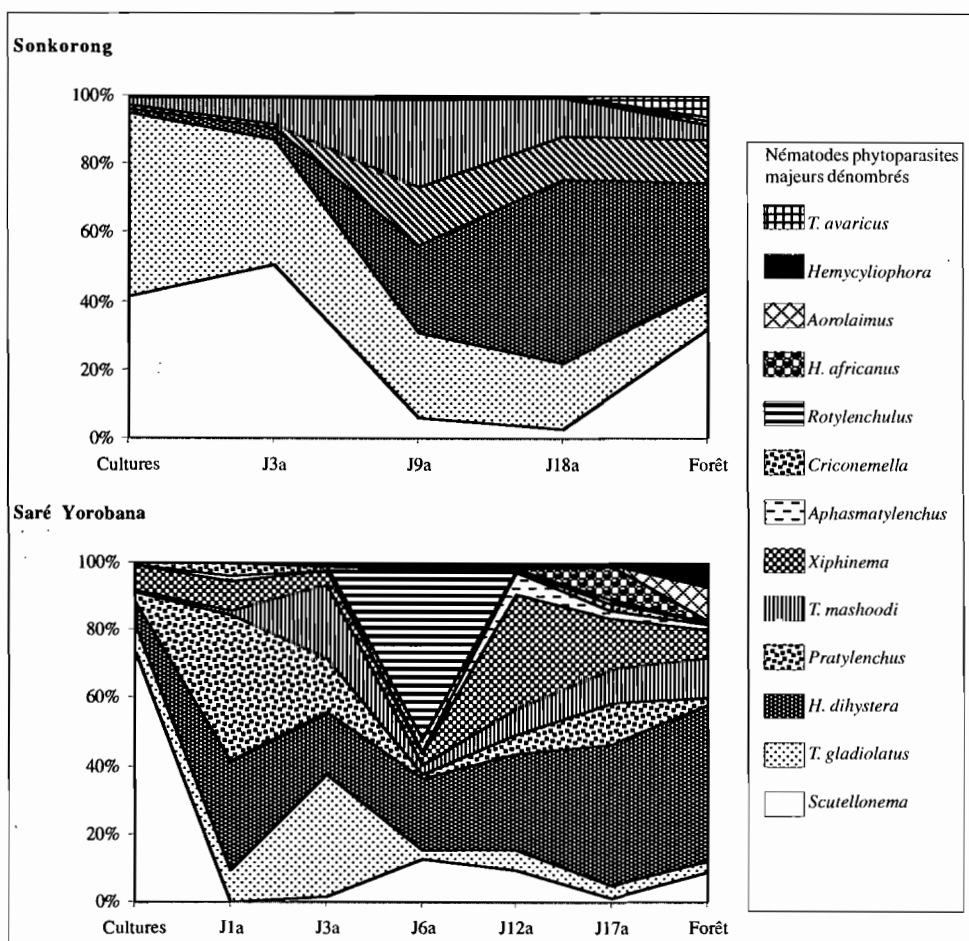


Figure 2. Évolution des peuplements de nématodes phytoparasites majeurs en fonction du temps de jachère.

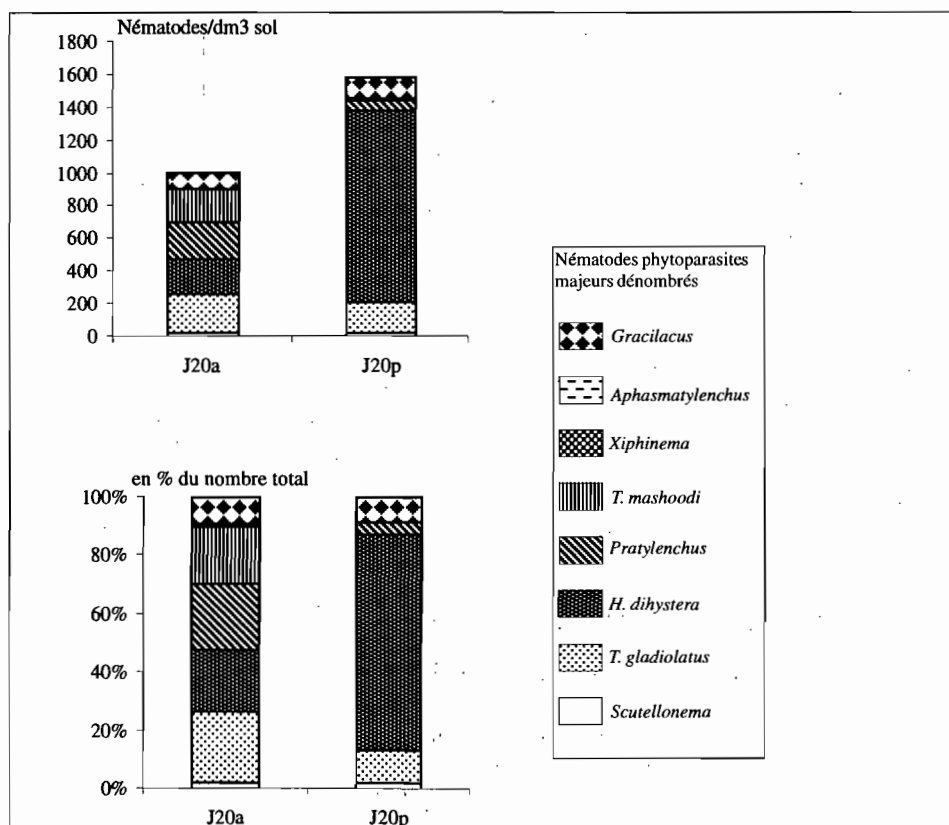


Figure 3. Influence de la mise en défens d'une jachère ancienne sur la densité et sur la structure du peuplement de nématodes phytoparasites majeurs.

jachères de plus de dix ans (fig. 2) ; les espèces *Scutellonema cavenessi* et *Tylenchorhynchus gladiolatus*, omniprésentes sous cultures, sont progressivement remplacées par *Cricone-mella curvata*, *Tylenchorhynchus mashoodi*, *Aphasmatylenchus variabilis* et *Pratylenchus pseudopratisensis* ; à Saré Yorobana, ces changements s'observent dans des jachères de moins de six ans. Lors du vieillissement des jachères, les espèces *Gracilacus parvula* et *Xiphinema* spp. et le genre *Helicotylenchus* succèdent aux espèces précédentes. Dans les jachères anciennes et la forêt, *Helicotylenchus dihystra* représente entre trente et cinquante-quatre pour cent du nombre total de nématodes phytoparasites majeurs dénombrés. La réapparition de *Scutellonema cavenessi* et de *Tylenchorhynchus gladiolatus* dans les stades les plus âgés des jachères (forêt) semble indiquer qu'une jachère trop longue n'est pas un moyen efficace pour le contrôle des principaux nématodes inféodés aux cultures (Pate, 1997).

La comparaison des dénombrements dans une jachère mise en défens avec ceux d'une jachère anthropisée indique que la protection de la jachère accroît la taille du peuplement nématologique et accentue le changement de sa structure spécifique (fig. 3). Lorsque la jachère est mise en défens, le nombre total de nématodes est multiplié par 1,6 ; la contribution de *Pratylenchus pseudopratisensis* au nombre total de nématodes passe de trois à vingt-deux pour cent ; celle de *Tylenchorhynchus gladiolatus*, de onze à vingt-quatre pour cent ; cette pratique conduit à une situation nématologique très favorable à la reprise des cultures.

L'étude des fluctuations saisonnières de peuplements montre que les variations sont principalement quantitatives ; les différentes espèces réagissent de façon similaire à la pluviométrie et à la disponibilité des ressources. La diminution du nombre moyen de nématodes après l'hivernage correspond à l'arrêt progressif de l'activité physiologique des plantes (Cadet & Pate, 1998) ; cette diminution n'est pas nécessairement observée pour *Scutellone-ma cavenessi* qui apparaît extrêmement résistant, sous forme anhydrobiotique.

Les micro-organismes

Biomasse microbienne totale

La mesure de la biomasse microbienne est estimée sur des échantillons de sols (horizons 0-10cm) incubés en conditions optimales de température et d'humidité pour le développement des micro-organismes. À Sonkorong, les micro-organismes sont les plus abondants dans les sols échantillonnés des jachères mises en défens (figure 4) ; dans ces sols, la biomasse microbienne va de deux cent quatre-vingt-dix à trois cent quatre-vingt-cinq microgrammes de carbone par gramme de sol. Dans les sols sous culture, le carbone microbien représente cent trente microgrammes de carbone par gramme de sol. Dans la jachère de dix-neuf ans anthropisée, la biomasse microbienne n'est pas significativement différente de celle d'un sol sous culture ; en outre, elle est deux fois inférieure à celle qui a été estimée dans la jachère du même âge mais mise en défens. À Saré Yorobana, les biomasses microbiennes varient de cent trente microgrammes de carbone par gramme de sol sous culture à deux cent onze microgrammes de carbone par gramme de sol dans la jachère la plus récente ; cependant, aucune différence significative n'a été enregistrée.

Ces mesures réalisées en condition de laboratoire ont été complétées par un suivi cinétique annuel ; lors de cette étude (Chotte *et al.*, 1998), les estimations ont été réalisées en saison sèche et en hivernage ; contrairement aux résultats précédents, la biomasse microbienne a été estimée sur des sols frais pour chaque prélèvement ; pour apprécier l'effet de la teneur en eau du sol sur le développement des micro-organismes, les résultats ont été regroupés selon des classes d'humidité du sol (exprimé en pourcentage de la capacité de rétention ; figure 5) ; la réponse des micro-organismes aux variations saisonnières d'humidité des sols semble être

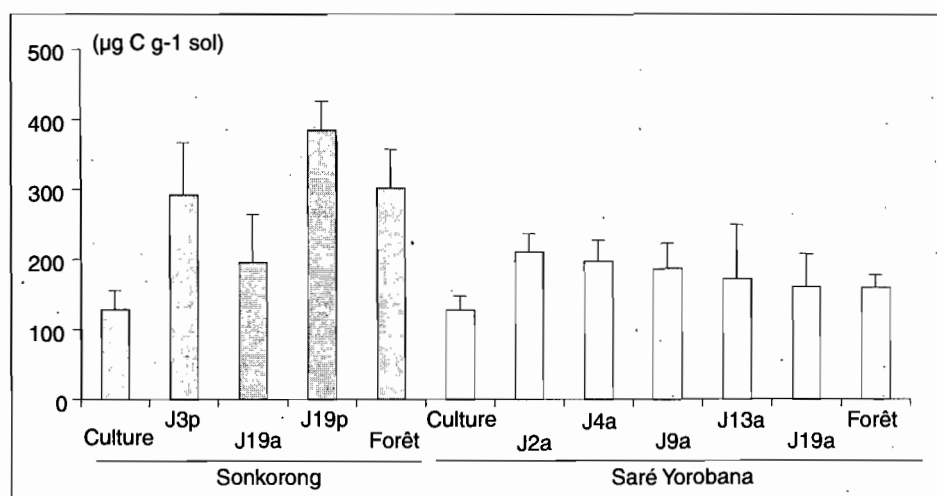


Figure 4. Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de sol) du sol (0-10 cm) des différentes situations. (Ndour *et al.*, 1999).

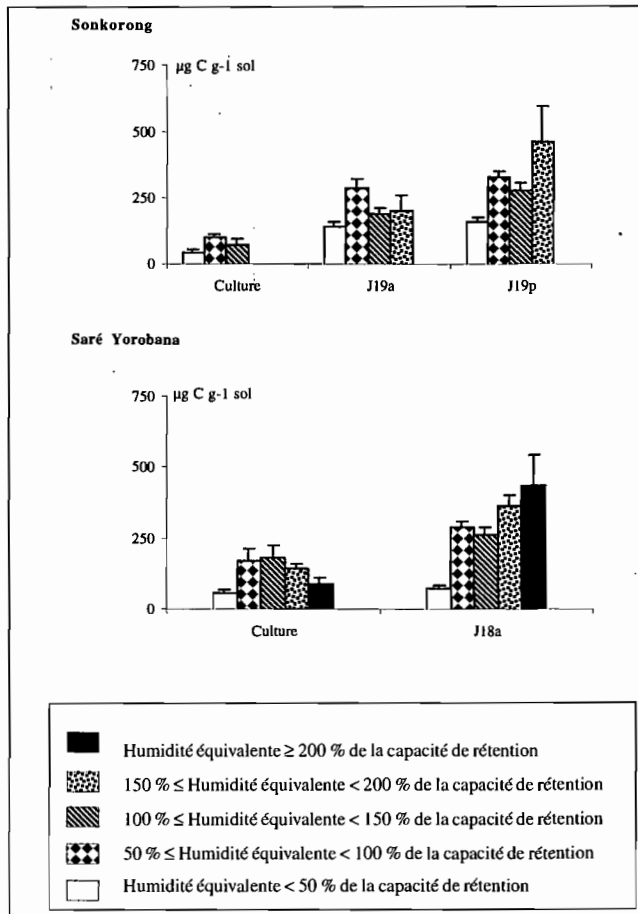


Figure 5. Biomasse microbienne ($\mu\text{g.C g}^{-1}$ de sol) dans différentes situations selon l'humidité du sol (% de la capacité de rétention).

influencée par les caractéristiques physiques des sols et par l'abondance des résidus végétaux ; dans les sols de jachère, la biomasse est élevée pour des humidités du sol supérieures à deux cents pour cent alors que la situation inverse est observée pour les sols sous cultures ; dans ces situations, la saturation en eau de la porosité totale crée des conditions anaérobies et provoque la disparition des micro-organismes ; sous jachère, au contraire, la biomasse microbienne tend à augmenter avec l'humidité ; les conditions anaérobies ne sont donc pas atteintes dans ces sols, probablement en raison d'une macroporosité importante créée par les macro-organismes et par les racines. L'accessibilité à de nouvelles ressources organiques dans les conditions les plus humides peut aussi expliquer ce résultat : les résidus végétaux, abondants dans les jachères anciennes et présents dans la macroporosité, pourraient représenter ces nouveaux sites microbiens.

Populations de spores de champignons mycorrhizogènes

Le dénombrement des spores de champignon mycorrhizogène a été réalisé dans les sols des différentes jachères du site de Sonkorong (tableau IV). Deux espèces ont été identifiées : *Scutellospora verrucosa* (blanc à jaune, rond, diamètre inférieur à $400\mu\text{m}$) et *Scutellospora gregaria* (noir, rond, diamètre inférieur à $500\mu\text{m}$) ; ces espèces ont déjà été identifiées dans

ces régions (Duponnois & Bâ, 1998). Le genre *Glomus*, dont les spores sont marron à marron foncé, est le plus abondant ; il représente plus de quatre-vingt-treize pour cent du nombre total moyen de spores qui est de 116,4 spores par cent grammes de sol dans la jachère de douze ans anthropisée et de 418,8 spores pour cent grammes de sol dans la jachère de quatre ans protégée ; Pour *Glomus*, le nombre moyen de spore le plus élevé a été enregistré dans les jachères de quatre ans (de 224 à 382,4 spores.100 g⁻¹ de sol) et le plus bas dans la jachère de douze ans (110,4 spores.100 g⁻¹ de sol). *S. verrucosa* a été détecté en abondance dans le sol de la jachère protégée la plus ancienne (20 ans, protégée).

Tableau IV. Nombre de spores de champignons mycorhizogènes extrait des sols (100 g) des différentes jachères de Sonkorong (moyenne de 16 répétitions).

Jachère	<i>Scutellospora verrucosa</i> *		<i>Scutellospora gregaria</i> *		<i>Glomus</i> spp.*	Total*
Quatre ans	12,3	cd	21,6	c	373,0 cd	406,9 d
Quatre ans protégée	18,9	de	17,5	bc	382,4 cd	418,8 d
Quatre ans	24,6	e	6,2	a	224,0 ab	254,8 bc
Quatre ans protégée	13,2	cd	7,0	a	379,2 d	399,4 d
Douze ans	3,2	ab	2,8	a	110,4 ab	116,4 a
Douze ans	9,8	bc	15,7	bc	339,2 bcd	364,7 bc
Vingt ans	1,6	ab	5,5	a	313,6 bcd	320,7 bcd
Vingt ans	3,8	ab	7,8	a	240,1 abc	251,7 abc
Vingt ans protégée	53,9	f	17,0	bc	125,2 a	196,1 abc

* Pour chaque colonne, des lettres différentes indiquent des différences significatives (PLSD Fisher, $p < 0,05$).

Duponnois *et al.* (1998) montrent que l'abondance des spores est liée à la texture et aux caractéristiques chimiques du complexe d'échange des sols des différentes jachères. La présence de *S. verrucosa* est associée aux sols à texture grossière (pourcentage de sables supérieur à 60 p. cent ; pourcentage d'argile inférieur à 10 p. cent) alors que les glomales sont observés dans des sols les plus argileux (pourcentage de sables inférieur à 60 p. cent ; pourcentage d'argile supérieur à 10 p. cent). L'abondance de ces groupes est aussi liée à certains éléments chimiques du sol ; la présence des glomales est corrélée positivement aux teneurs en magnésium, en calcium et en phosphore, alors que celle de *S. verrucosa* et de *S. gregaria* est corrélée positivement à la teneur en phosphore.

Les racines

Les travaux de caractérisation de la biomasse racinaire ont principalement été conduits dans les jachères de Saré Yorobana (Manlay, 2000 ; Manlay *et al.*, *soumis*). Ces études ont permis d'établir la distribution des racines fines (moins de 2 mm, extraite à l'élutriateur) et des racines grossières (triées manuellement sur le terrain) dans les quarante premiers centimètres de sol. Les racines fines représentent environ quinze pour cent de la biomasse totale ; elles se répartissent principalement dans l'horizon zéro-dix centimètres qui concentre près de cinquante pour cent de la biomasse de racines fines mesurées dans la couche zéro-quarante centimètres ; cette distribution relative n'évolue pas au cours du vieillissement des jachères ; en revanche, la biomasse totale augmente tout particulièrement lors des dix premières années de mise en jachère ; au-delà, la biomasse racinaire est stable ; les flux nets de production de biomasse sont nuls ; la biomasse produite remplace celle en cours de décomposition. À partir de ces résultats, les auteurs proposent trois groupes de situations :

- les cultures ;
- les jachères âgées de moins de dix ans ;
- les jachères de plus de dix ans.

Dans cette chronoséquence, la biomasse moyenne des racines (fines et grossières) est de :

- 11,4 tonnes de matière sèche par hectare dans un champ d'arachide ;
- de 18,3 tonnes de matière sèche par hectare dans une jachère de moins de dix ans ;
- de 34,8 tonnes de matière sèche par hectare dans une jachère de plus de dix ans.

Ces résultats sont du même ordre de grandeur que ceux qui ont été obtenus par d'autres auteurs dans des conditions plus humides (Menaut & César, 1979) ou dans des forêts sèches (Martinez Yrisar, 1995). L'augmentation de la biomasse racinaire dans les jachères les plus anciennes a des effets sensibles sur les stocks de carbone organique ; dans ces situations, l'augmentation du stock de matière organique (horizon 0-10 cm) est due en grande partie à la présence des débris végétaux (racines, parties aériennes).

Activités biologiques

Activités enzymatiques

Les activités enzymatiques ont été mesurées dans les sols de trois jachères de Sonkorong (figure 6) ; les résultats présentés concernent les prélèvements dans la zone de sol sous la canopée des ligneux (Ndour *et al.*, en préparation). Les activités phosphatase sont les plus élevées ; celles qui ont été relevées dans les jachères de vingt ans sont significativement les plus intenses ; en revanche, il n'y a pas de différence significative entre la jachère anthropisée (de 20 ans) et la jachère protégée (de 20 ans). Parmi les activités hétérosidases, on note la prédominance de l'activité β -glucosidase, significativement la plus élevée dans la jachère la plus ancienne protégée. Les activités polysaccharidases (amylase et xylanase) sont moins intenses mais cependant significativement supérieures dans les jachères les plus anciennes. Ces activités sont supérieures lorsqu'elles sont mesurées dans le sol sous la canopée des arbres que lorsqu'elles sont mesurées en dehors de cette zone, à l'exception de la xylanase.

Potentiel infectieux mycorrhizogène

La mesure du potentiel infectieux mycorrhizogène est un test biologique qui permet de connaître le nombre de propagules d'un sol, capables de coloniser le système racinaire d'une

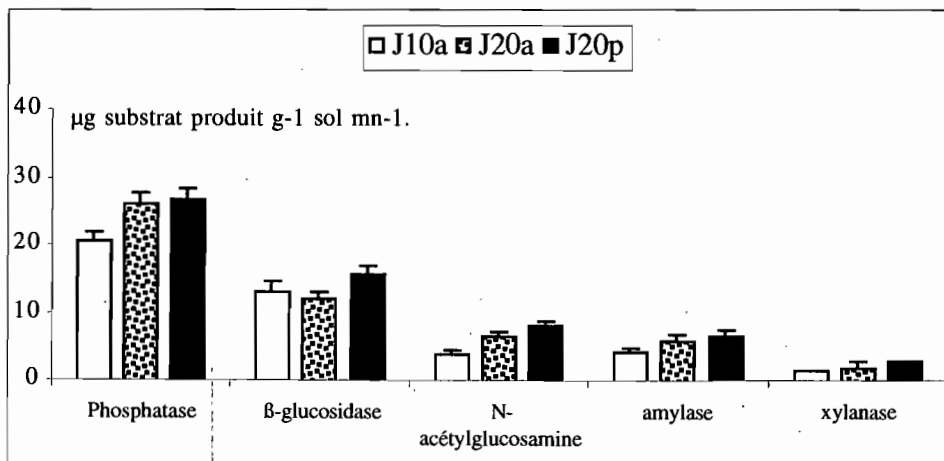


Figure 6. Activités enzymatiques enregistrées dans les sols (0-10 cm) de différentes jachères à Sonkorong.

plante test. Dans leurs travaux conduits à Sonkorong Duponnois *et al.* (soumis) mettent en évidence deux groupes de jachères selon que le nombre de propagules de leur sol permet ou non la mycorhization de cinquante pour cent des plants test ; les jachères naturelles âgées de quatre ans, de douze ans et de vingt ans relèvent du premier cas ; aucune différence n'est notée selon le mode d'exploitation des jachères (anthropisée *versus* protégée).

Activité potentielle de fixation libre de l'azote

La mesure d'activité potentielle de fixation libre de l'azote a été réalisée sur les habitats microbiens isolés des sols de deux jachères protégées (3 ans et 19 ans) de Sonkorong ; la somme des quantités d'azote fixé dans chaque habitat isolé du sol de la jachère de dix-neuf ans est supérieure ($694 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) à celle qui a été obtenue dans le sol de la jachère de trois ans ($114 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$; tableau V) ; ces valeurs sont très supérieures à celles qui ont été obtenues sur le sol total non fractionné ($180 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour la jachère de 19 ans et $10 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour la jachère de 3 ans ; Chotte *et al.*, soumis) (tableau V). L'activité de fixation libre de l'azote est due, pour près de quatre-vingts pour cent, à l'action des micro-organismes associés à la fraction cinquante-deux mille micromètres dans la jachère de trois ans protégée. Dans la jachère de dix-neuf ans protégée, ce sont les fractions supérieures à deux mille micromètres (42 p. cent de la fixation totale) et comprises entre cinquante et deux mille micromètres (46 p. cent de la fixation totale) qui contribuent le plus à l'activité du sol total. L'activité mesurée dans les argiles dispersées est quasiment nulle, quelle que soit la situation. La comparaison des quantités d'azote fixé dans les deux situations indique que près de quatre-vingt-dix pour cent du gain enregistré lors du vieillissement de la jachère est dû à l'activité des micro-organismes associés à la fraction supérieure à deux mille micromètres et à la fraction comprise entre cinquante et deux mille micromètres ; ces deux habitats peuvent

Tableau V. Potentiel de fixation de l'azote dans les différentes fractions (Chotte *et al.*, soumis).

Fractions	Jachère de 3 ans protégée			Jachère de 19 ans protégée			(Ja.19p-Jr.3p)	
	Azote fixé *		% Σ fractions	% Σ fractions	Azote fixé *	% Σ fractions	Azote **	% Σ fractions
Résidus végétaux	nd			nd			nd	
> 2000µm	9,8	[1,7]	9	290,3	[12,7]	42	280,5	48
50-2000µm	87,5	[2,1]	77	317,8	[11,3]	46	230,3	40
2-50µm	15,1	[0,8]	13	81,9	[1,7]	12	66,8	12
0-2µm	1,6	nd	1	3,7	[0,6]	1	2,1	0
Σ fractions	114,0			693,7			579,7	

Légende : [...] : écart type ; * en kilogrammes par hectare (kg.ha^{-1}) ; ** : en kilogrammes par hectare et par an ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$).

être considérés comme des *hot spot* de cette activité microbienne (Lensi *et al.*, 1995).

Quelques exemples de diversité de groupes biologiques ciblés

Termites

Dans les sites de Sonkorong, la richesse spécifique des termites est faible aussi bien dans les jachères jeunes de deux ans (9 espèces) que dans celles de trente ans (3 espèces ; tabl. VI) ; cette richesse est relativement stable dans les jachères anthropisées (entre 8 et 12 espèces) ;

elle augmente (17 espèces) dans la jachère mise en défens. Dans les jachères de Saré Yorobana, la richesse spécifique est comparable à celle de Sonkorong : stable dans l'ensemble des jachères (entre 8 et 13 espèces ; tableau VI), elle n'augmente que dans la jachère de dix

Tableau VI. Richesse spécifique des termites en fonction de l'âge de la jachère sur les sites du Sénégal (Sarr *et al.*, 1998) et (Fall *et al.*, 1999).

	Sonkorong					Saré Yorobana			
Âge de la jachère	2 ans	7 ans	17 ans	17 ans protégée	18 ans	1 an	3 ans	10 ans	30 ans
Nombre termites	8	12	12	17	11	8	10	13	11

ans ; cette dernière est la jachère la moins perturbée de l'ensemble du dispositif en raison de son éloignement du village.

À partir des données qualitatives obtenues (fréquence d'apparition des espèces), Sarr *et al.* (1998) et Fall *et al.* (1999) proposent un profil écologique des espèces ; ce type d'analyse permet de déterminer si des espèces sont représentatives de certaines jachères ; ce point est important pour évaluer les termites comme espèces bio-indicatrices de l'état de perturbation du système écologique. Les auteurs distinguent quatre groupes écologiques suivant l'âge ou l'état de la jachère (tableau VII) :

- le premier groupe est constitué des espèces présentes dès les premières années de la jachère ; elles ne sont pas sensibles aux perturbations anthropiques ou elles le sont peu ; elles sont donc présentes dans les jachères âgées non protégées, telle la jachère de dix-sept ans ;
- le deuxième groupe est composé d'espèces présentes dans les jachères anthropisées de sept et de dix ans ; il est constitué principalement par les espèces humivores de la sous-famille des Apicotermittinae, par des espèces champignonnistes dont le régime alimentaire est ubiquiste, comme *Odontotermes latericius* et *Ancistrotermes crucifer*, et (ou) par des fourrageurs, comme *Trinervitermes* spp. ;
- le troisième groupe est constitué par les espèces caractéristiques des jachères âgées protégées (17 ans) ; il s'agit surtout de l'espèce xylophage *Amitermes guineensis*, stimulée par la présence de bois, des espèces humivores de la sous-famille des termitinae comme *Tuberculitermes bycanistes* et *Promirotermes holmgreni* ;
- le quatrième groupe est constitué des espèces indifférentes à l'état de la jachère ; elles se caractérisent par de faibles fréquences dans l'ensemble des différentes jachères ; ce groupe comprend la majorité des espèces à Saré Yorobana.

L'analyse écologique précédente a montré une certaine répartition des espèces en fonction de l'âge de la jachère ; une analyse simultanée de la densité des termites et de certains paramètres du milieu, à Sonkorong sur les jachères de deux et de dix-huit ans (Sarr *et al.*, 1998), a montré que cette répartition des espèces est due à des facteurs spécifiques du milieu ; dans la jachère de deux ans, il existe une certaine relation entre la distribution des espèces et les facteurs du milieu ; ainsi, les espèces de la sous-famille des Apicotermittinae (humivores), les *Microtermes* (champignonnistes) et *Eremotermes* sp. (xylophage) se situent de préférence sous les arbustes et dans les zones de litière abondante et (ou) à importante couverture herbacée ; la répartition des espèces xylophages du genre *Eremotermes*, de l'espèce champignonniste *O. latericius* et du xylophage *A. evuncifer*, est liée à la présence de souches d'arbres ; dans la jachère de dix-huit ans, la relation entre la densité des espèces et les facteurs du milieu semble moins structurée que dans la jachère jeune ; la densité de bois et de litière

Tableau VII. Profils écologiques des termites dans les différentes jachères du Sénégal (Sarr *et al.*, 1998; Fall *et al.*, 1999).

Groupes écologiques	Site de Sonkorong			
	Âge et condition de la jachère			
	7 ans	17 ans	17 ans protégée	
1				
<i>Microtermes grassei</i>	o	+++	---	
2				
<i>Apicotermittinae*</i>	+++	o	-	
<i>Amitermes evuncifer</i>	++	o	o	
<i>Odontotermes latericius</i>	+	o	o	
<i>Trinervitermes trinervius</i>	+	o	o	
3				
<i>Amitermes guineensis</i>	o	o	+++	
<i>Microcerotermes</i> spp.	---	o	+	
<i>Coptotermes intermedius</i>	o	o	+	
<i>Tuberculitermes bycanistes</i>	o	o	+	
<i>Promiotermes holmgreni</i>	o	o	+	
4				
<i>Microtermes hollandei</i>	-	-	o	
<i>Cubitermes niokoloensis</i>	o	o	o	
<i>Macrotermes subhyalinus</i>	o	o	o	
<i>Microtermes</i> sp.	o	o	o	
<i>Odontotermes nilensis</i>	o	o	o	
<i>Angulitermes truncatus</i>	o	o	o	
Site de Saré Yorobana				
Groupes écologiques	1 an	3 ans	10 ans	30 ans
1				
<i>Microtermes grassei</i>	o	+	o	o
2				
<i>Apicotermittinae*</i>	o	o	+	o
<i>Cubitermes niokoloensis</i>	o	o	+	o
<i>Trinervitermes togoensis</i>	o	o	+++	o
<i>Ancistrotermes crucifer</i>	o	o	+++	-
3				
Pas de représentant				
4				
<i>Coptotermes intermedius</i>	o	o	o	o
<i>Cubitermes</i> sp.1	o	o	o	o
<i>Eremotermes</i> sp.	o	o	o	o
<i>Microcerotermes parvus</i>	o	o	o	o
<i>Microtermes hollandei</i>	o	o	o	o
<i>Microtermes</i> sp.1	o	o	o	o
<i>Odontotermes latericius</i>	o	o	---	o
<i>Trinervitermes trinervius</i>	o	o	o	o
<i>Amitermes guineensis</i>	o	o	o	o

+ Probabilité forte de présence

o espèce indifférente

- probabilité forte d'absence

conditionne non seulement la présence d'espèces champignonnistes (*O. latericius*) mais également celles d'espèces fourrageuses (*T. trinervius*) et humivores (*P. holmgreni*).

Nématodes

Les dénombrements réalisés au cours des différentes périodes sur les sites de Sonkorong et de Saré Yorobana ont permis de calculer divers indices de la diversité du peuplement nématologique (Pate *et al.*, 2000). La richesse spécifique est plus élevée à Saré Yorobana qu'à Sonkorong, en particulier sur les jachères les plus âgées et la forêt (tableau VIII); l'indice de régularité calculé pour les jachères et la forêt est sensiblement équivalent dans les deux sites (65 p. cent environ). La relation globalement positive entre l'abondance des groupes trophiques et l'âge des jachères, observée à Sonkorong, n'est pas retrouvée à Saré Yorobana; la proportion de nématodes phytoparasites a tendance à être plus faible à Sare Yorobana (6 p. cent du peuplement de nématodes) qu'à Sonkorong (14 p. cent du peuplement de nématodes); elle s'inverse pour les deux autres groupes trophiques : saprophages (81 p. cent à Sonkorong et 76 p. cent à Sare Yorobana) et fongivores (13 p. cent à Sonkorong et 10 p.

Tableau VIII. Richesse spécifique globale, abondance comparée (moyenne et écart-type du nombre de nématodes par dm³) des groupes trophiques chez les nématodes et indice de régularité (Pate *et al.*, 2000).

Site	Âge et condition de la parcelle	Richesse spécifique globale	Nématodes			Régularité (%)
			non phytoparasites	fongivores	phytoparasites	
Sonkorong	Champ cultivé	7	5 826 (734)	526 (89)	1 174 (184)	45,5 (16,9)
	Jachère de 3 ans	6	5 264 (657)	314 (56)	617 (62)	57,5 (16,9)
	Jachère de 3 ans protégée	7	4 786 (565)	428 (70)	1 049 (112)	45,7 (2,8)
	Jachère de 10 ans	9	5 117 (518)	506 (58)	1 122 (101)	75,9 (4,9)
	Jachère de 20 ans	8	6 225 (754)	1 113 (167)	1 506 (187)	73,7 (2,6)
	Jachère de 20 ans protégée	8	3 955 (302)	723 (64)	1 566 (176)	35,1 (3,3)
	Forêt	10	6 718 (608)	1 182 (141)	1 145 (78)	67,2 (9,5)
Saré Yorobana	Champ cultivé	13	4 323 (589)	756 (144)	364 (85)	33,5 (7,1)
	Jachère de 2 ans	7	5 502 (677)	623 (100)	420 (106)	70,1 (3,3)
	Jachère de 4 ans	8	7 800 (561)	522 (68)	438 (68)	69,4 (2,9)
	Jachère de 7 ans	12	5 338 (516)	1 124 (180)	698 (104)	55,3 (4)
	Jachère de 13 ans	9	4 523 (584)	660 (98)	173 (20)	60,2 (4,2)
	Jachère de 18 ans	13	4 948 (701)	1 152 (198)	287 (30)	67,8 (3,8)
	Forêt	14	4 319 (578)	936 (178)	465 (57)	64,4 (4,4)

cent à Sare Yorobana). À Sonkorong, où la mise en défens a été étudiée, cette situation ne modifie ni la richesse spécifique ni l'abondance des différents groupes trophiques de manière notable

Bactéries libres fixatrices d'azote du genre *Azospirillum*

L'étude de la diversité des bactéries libres fixatrices d'azote a été réalisée dans deux jachères en défens de Sonkorong, âgées de trois et de dix-neuf ans (Chotte *et al.*, soumis).

Quatre espèces qui appartiennent à ce genre bactérien ont été retenues : *A. brasilense*/*A. amazonense*, *A. lipoferum* et *A. irakense* ; la distribution de ces génotypes a été établie à partir des habitats microbiens (cf. paragraphe suivant) ; quelle que soit la situation, le génome dominant est représenté par le couple *A. brasilense*/*A. amazonense* ; la somme du nombre de génotypes isolés dans chacune des fractions est égale à cent vingt-sept pour la jachère de trois ans protégée et à cent soixante-quatorze pour la jachère de dix-neuf ans protégée (tableau IX) ; les autres génotypes sont nettement moins représentés. Un nombre équivalent de colonies ont réagi positivement à la sonde codant pour *A. lipoferum* : vingt-neuf pour la jachère de trois ans protégée ; vingt-quatre pour la jachère de dix-neuf ans protégée ; à l'inverse, *A. irakensis* est plus abondante dans le sol de la jachère de trois ans protégée (26 réponses positives) que dans celle de dix-neuf ans (5 réponses positives). La comparaison de la distribution de ces génotypes dans les différents habitats isolés des sols de ces deux situations révèle de grandes différences : dans la jachère de trois ans, le génotype *A. brasilense*/*A. amazonense* est principalement localisé dans la fraction cinquante-deux mille micromètres ; dans la jachère de dix-neuf ans, il se distribue de façon plus homogène dans trois fractions : supérieure à deux mille micromètres, entre cinquante et deux mille micromètres et entre deux et cinquante micromètres ; les génotypes *A. lipoferum* et *A. irakensis* sont isolés principalement de la fraction deux-cinquante micromètres dans la jachère de trois ans ; ils sont très peu représentés dans la jachère de dix-neuf ans ; *A. irakensis* n'est présent que dans les résidus végétaux et dans la fraction cinquante-deux mille micro-

Tableau IX. Nombre de génotypes *Azospirillum* révélés par les sondes spécifiques dans les fractions isolées et dans les sols totaux des jachères de trois ans et de dix-neuf ans, protégées, de Sonkorong (Chotte *et al.*, 2000 soumis).

Fractions	Jachère de trois ans protégée				Jachère de dix-neuf ans protégée			
	Aba	Al	Ai	Réponses négatives	Aba	Al	Ai	Réponses négatives
Résidus végétaux	nd	nd	Nd	nd	14	6	1	10
> 2 000 µm	22	5	7	3	46	2	0	4
50-2000 µm	59	7	6	3	52	3	4	18
2-50 µm	20	11	11	4	57	4	0	3
0-2 µm	26	6	2	12	5	9	0	8
Σ fraction	127	29	26	22	174	24	5	43

Légende : Aba : *Azospirillum brasilense*/*A. amazonense* ; Al : *A. lipoferum* ; Ai : *A. irakense*.

mètres ; la quasi-disparition de ce génotype dans la jachère la plus âgée est à souligner ; les auteurs expliquent en partie ce résultat par une réduction de la diversité des herbacées dans la jachère la plus ancienne et, notamment, par le développement exclusif de *Pennisetum pedicellatum* dans ces situations.

Les habitats microbiens des sols de jachères

Les caractéristiques (poids, C et N organiques, abondance des micro-organismes totaux et des fixateurs libres) des habitats d'un sol d'une jachère protégée de trois ans ont été comparées à celles des mêmes fractions isolées d'un sol d'une jachère plus ancienne (19 ans, protégée). Dans la jachère la plus récente, la fraction cinquante-deux mille micromètres est la plus abondante ; elle représente près de soixante-dix pour cent du poids du sol total

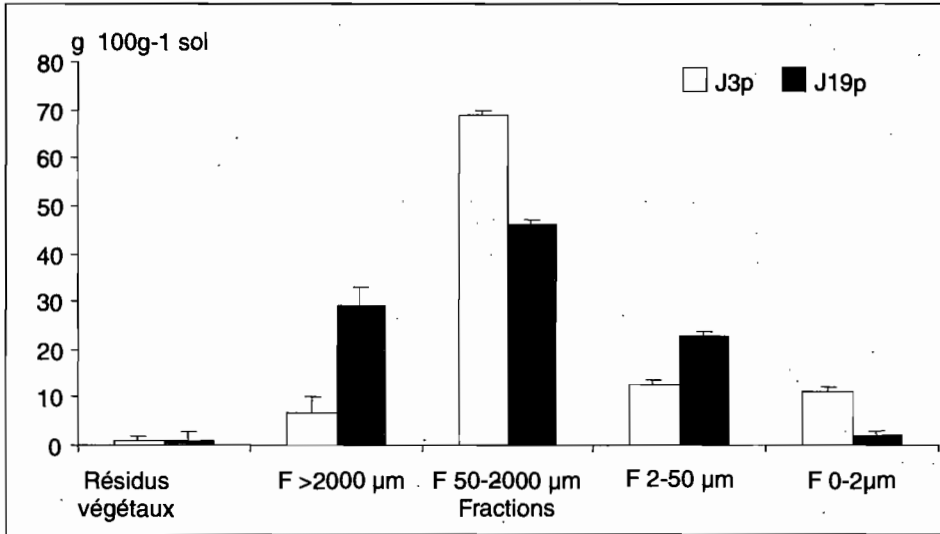


Figure 7. Distribution pondérale des fractions isolées des sols de jachère : jachère de trois ans protégée et jachère de dix-neuf ans protégée de Sonkorong (Chotte *et al.*, soumis).

(figure 7). La fraction zéro-deux micromètres représente onze pour cent du poids du sol total ; la fraction deux-cinquante micromètres, douze pour cent ; cette distribution est différente dans la jachère de dix-neuf ans protégée : la fraction supérieure à deux mille micromètres représente environ trente pour cent du total ; dans la jachère la plus jeune, cette fraction est non seulement trois fois moins abondante, mais elle correspond aux sables granulométriques ; en conséquence, dans la jachère de dix-neuf ans protégée, la fraction supérieure à deux mille micromètres est constituée de particules minérales agrégées ; la fraction de la taille des argiles (0-2µm) isolée de cette situation représente moins de vingt pour cent des argiles texturales. À l'opposé, la totalité des argiles granulométriques du sol sous jachère de 3 ans sont dispersées par la méthode de fractionnement. Le vieillissement de la jachère permet la formation d'agrégat de taille supérieure à deux mille micromètres et diminue la fraction des argiles dispersables ; cette organisation différente dans les sols de ces deux situations entraîne diverses répercussions sur les autres caractéristiques des habitats ; Les composés organiques sont principalement localisés dans la fraction cinquante-deux mille micromètres dans la jachère de trois ans protégée (51 p. cent du sol total) ; dans la jachère de dix-neuf ans protégée, soixante-quinze pour cent du carbone du sol total est reparti en trois parts égales dans les habitats supérieurs à deux mille micromètres, cinquante-deux mille micromètres et deux-cinquante micromètres. La teneur en carbone du sol total du sol de la jachère de dix-neuf ans protégée est supérieure (11,3 mg C.g⁻¹ de sol) à celle du sol de la jachère de trois ans protégée (5,2 mg C.g⁻¹ de sol). D'un point de vue microbiologie, les micro-organismes sont significativement plus abondants dans la jachère la plus ancienne, à l'exception des bactéries du genre *Azospirillum* ; ces micro-organismes sont majoritairement associés aux argiles dispersables (entre 45 p. cent et 91 p. cent du nombre total selon l'organisme considéré) ; la comparaison des deux situations indique que l'augmentation du nombre de micro-organismes dans la jachère ancienne est majoritairement due aux micro-organismes associés à la fraction de la taille des argiles ; cette fraction, pondéralement moins abondante que dans la jachère la plus jeune, héberge une fraction non négligeable des micro-organismes ; il est possible d'expliquer ce résultat en s'appuyant sur le modèle proposé par Hattori (1988) ; ces

argiles sont en réalité associées à la surface externe des agrégats et entraînées lors du fractionnement ; dans cette position, les micro-organismes qui leur sont associés sont en contact direct avec les apports carbonés exogènes ; ils se multiplient rapidement ; cependant, ils contribuent très faiblement au fonctionnement du sol. À l'opposé, les micro-organismes qui colonisent les agrégats supérieurs à deux mille micromètres formés dans la jachère ancienne représentent moins de dix pour cent de l'augmentation des micro-organismes enregistrée lors du vieillissement de la jachère ; cependant, ces microorganismes, et tout particulièrement les fixateurs libres d'azote, trouvent des conditions très favorables à leurs activités dans ces nouvelles structures.

Discussion :

recherche d'indicateurs biologiques de l'état des sols en jachère

Les jachères peuvent être prises comme un modèle de succession d'états écologiques différenciés ; or, la succession constitue la réponse dynamique d'une communauté écologique des perturbations stochastiques. Les forces qui maintiennent la diversité et la structure des communautés sont supposées être les mêmes que celles qui conduisent à cette succession (Tilman, 1993). L'étude des changements induits par la mise en jachère implique la détermination des « indicateurs » dont les variations vont renseigner sur l'état et sur le fonctionnement du système, et, dans le cas des systèmes (sol-jachère), sur l'état de restauration des propriétés des sols (Pontanier & Roussel, 1998). Il existe deux démarches complémentaires d'identifications de tels indicateurs :

- l'une fondée sur une approche explicative qui repose sur la connaissance des mécanismes propres à certaines propriétés des sols ;
- l'autre, corrélative, fondée sur l'obtention de corrélation robuste, obtenue à partir d'un grand nombre de mesures réalisées lors d'expérimentations représentatives du milieu étudié ; cette démarche est largement utilisée pour définir par exemple la fertilité azotée des sols (Ruiz *et al.*, 1993) ou les seuils de matière organique des sols tropicaux (Feller, 1993).

Quelle que soit la démarche adoptée, la recherche d'indicateurs pertinents, qui renseignent sur l'état d'une fonction d'un système, repose sur la définition de ses mécanismes élémentaires. Parmi les multiples fonctions assumées par la jachère dans le système « rotation jachère-culture-sol », (Serpantié, 1993), on retiendra le principe de « gestion de la fertilité dans l'unité de production » à partir duquel les paysans, animés par une stratégie de production, fondent en grande partie leur décision de mise en jachère.

En matière de fonctionnement biologique, l'objectif d'une mise en jachère est donc de rétablir les chemins trophiques qui permettent au sol d'assurer sa fonction de production agricole et qu'une exploitation intense du milieu a altérés ; il s'agit de favoriser à la fois :

- le développement et les conditions d'activité des micro-organismes impliqués dans la libération des nutriments essentiels à la production de biomasse ;
- les conditions d'absorption de ces éléments par les racines des végétaux.

La jachère doit également permettre de réduire la pathogénie du peuplement nématologique ; en raison de leur action sur les racines, ces organismes peuvent être potentiellement responsables de la non-utilisation par la plante des nutriments présents dans la solution du sol. Les travaux conduits dans le cadre du programme *Jachère* se sont donc attachés à la définition d'indicateurs biologiques des sols propres à chacune de ces deux étapes de production et de valorisation des nutriments.

Démarche corrélatrice : les niveaux seuils

Macrofaune

L'abondance et la structure des peuplements de la macrofaune du sol peut varier de façon importante en fonction des conditions climatiques, du sol et de la végétation. Les densités (500 à 2000 individus.m⁻²) et les biomasses (10 à 40 g.m⁻²) de macro-invertébrés trouvées dans les jachères au Sénégal, dans le centre du bassin arachidier et en Haute-Casamance, sont relativement élevées compte tenu des conditions climatiques : période sèche d'une durée supérieure à six mois ; pluviométrie annuelle de sept cent cinquante millimètres dans le centre du bassin arachidier et de mille millimètres en Haute-Casamance ; ces densités et ces biomasses sont du même ordre de grandeur que celles de différents agro-écosystèmes tropicaux de zones plus humides (Lavelle & Pashanasi, 1989 ; Lavelle *et al.*, 1991 ; Gilot *et al.*, 1994) ; ces biomasses sont plus élevées que celles des vertisols du Cameroun septentrional où les précipitations sont de sept cent cinquante millimètres ; au Zimbabwe (850 mm de précipitation en 5 mois de saison des pluies), les peuplements de macro-invertébrés des savanes arbustives, dominés par les termites, ont des biomasses de l'ordre de dix grammes par mètre carré, liées à la moindre abondance des vers de terre (Dangerfield, 1990). Les faibles précipitations et la longueur de la période sèche, en particulier à Sonkonrong, ne laissent pas présager de si fortes densités et biomasses de vers de terre ; certaines espèces endémiques développent des adaptations contre la sécheresse (Reinecke, 1983). L'évolution des peuplements de la macrofaune du sol dans les jachères naturelles d'âge croissant est de faible amplitude ; les densités et biomasses des vers de terre et des termites sont maximales dans les jachères âgées de trois à quinze ans ; elles semblent diminuer dans les jachères plus âgées.

Bien que les termites représentent la pédofaune dominante du point de vue de la densité, dans les sites étudiés au Sénégal, aucune modification nette des densités de termites en fonction de l'âge des jachères n'est observée ; ainsi, à Sonkonrong, la densité est équivalente une jachère de deux ans et une autre de dix-huit (Sarr *et al.*, 1998) ; dans les sites du Cameroun septentrional, la densité des termites, mesurée en mode diachrone sur plusieurs sites pendant trois ans, ne varie pas au cours des premières années de jachère (Duboiset, 1996) ; en revanche, l'étude en mode synchrone (comparaison des jachères au sein des mêmes années) montrent une baisse drastique de la densité dans les jachères âgées de plus de dix ans, comparable à celle qui a été observée à Saré Yorobona.

L'évolution des biomasses des organismes de la macrofaune lors de la mise en jachère des sols sableux tropicaux est de faible amplitude ; il est possible, que les systèmes de cultures à faibles apports d'intrant pratiqués en Afrique de l'Ouest ne provoquent pas l'éradication totale des macro-invertébrés, contrairement à ce qui est observé dans d'autres régions du monde (Lavelle & Pashanasi, 1989 ; Dangerfield, 1990) ; pour les vers de terre par exemple, les vitesses de colonisation sont trop faibles pour expliquer les densités enregistrées dans les jeunes jachères, si les densités n'avaient pas déjà été relativement importantes sous culture ; les niveaux seuils maximaux sont atteints dans les jachères de moins de dix ans ; au-delà, les résultats indiquent une diminution de ces biomasses.

Nématodes phytoparasites

Contrairement à ce qui est généralement admis, la pratique d'une jachère naturelle ne s'accompagne pas d'une diminution du nombre de nématodes phytoparasites ; elle provoque une nette régression des deux espèces présentes dans les parcelles cultivées de cette zone, mais ces deux espèces sont remplacées par plusieurs autres, également phytoparasites. Une analyse en composantes principales révèle une relation entre certaines formes de matière organique des sols et la structure des peuplements (Manlay, 2000). Les genres comme *Pratylenchus* et *Ditylenchus* sont corrélées à la végétation herbacées des jachères jeunes ; au

contraire, *Helicotylenchus* et *Scutellonema* sont associées aux jachères anciennes. La multiplication de ce dernier semble être étroitement associée à la présence de racines fines des ligneux, alors que celle de *Helicotylenchus* est favorisée par les racines grossières.

La comparaison des peuplements nématologiques entre les deux sites et celle de leur évolution en fonction du temps de jachère, tend à montrer que le peuplement de Saré Yorabana, c'est-à-dire de la zone peu anthropisée et pluvieuse, est plus équilibré que celui de la zone très perturbée et plus sèche de Sonkorong ; ce dernier peuplement est constitué par un plus grand nombre d'espèces en proportion relativement similaire ; en outre, il faut une durée de jachère environ deux fois plus longue pour que les peuplements des deux sites présentent des caractéristiques maximales de diversité : approximativement dix ans à Saré Yorabana et vingt ans à Sonkorong ; de ce fait, la restauration de la fertilité du sol par la jachère naturelle, dans les régions soudano-sahéliennes fortement anthropisées, apparaît comme un processus beaucoup trop lent pour être envisageable, compte tenu de la pression humaine actuelle sur les sols cultivables.

Les travaux nématologiques indiquent que la notion de valeurs seuils du nombre de nématodes phytoparasites ne peut pas être retenue comme un indicateur de l'état de restauration de la fertilité des sols ; seule l'étude de la structure du peuplement nématologique permet de préciser les effets des pratiques agricoles sur ce compartiment biologique du sol.

Microorganismes

Biomasse totale

De nombreuses études se sont attachées à définir des indicateurs microbiologiques de l'état de fertilité de sols, en raison du rôle évident du compartiment microbien dans les processus de transformation et de libération des nutriments (Dick, 1992 ; Dick & Gupta, 1994). Le développement de méthodes rapides et fiables de détermination de la biomasse microbienne de sol ont favorisé l'utilisation de ce paramètre en tant qu'indicateur de la fertilité des sols (Elliott, 1994 ; Jordan *et al.*, 1995) ; la biomasse microbienne totale n'est cependant pas toujours un indicateur pertinent de l'activité des micro-organismes, car elle intègre de nombreux paramètres (teneur en carbone, humidité, texture) dont les effets sur la fertilité des sols peuvent être opposés (Sparling, 1992). Chaussod *et al.* (1986) privilégient un indicateur plus dynamique, fondé sur le rapport du flux de gaz carbonique sur la biomasse totale. Cette nécessité d'intégrer, dans la définition d'un indicateur microbiologique, à la fois une mesure statique du compartiment microbien et une mesure de l'un des produits de son activité est reprise dans les travaux d'autres auteurs sur les activités enzymatiques (Nannipieri, 1994).

Les travaux conduits dans les situations du programme *Jachère* n'ont pas permis, à partir des mesures de biomasse, de définir des seuils critiques ; si la mise en jachère a entraîné des effets positifs sur ce compartiment biologique du sol à Sonkorong, elle n'en a eu aucun à Saré Yorabana ; sur ce site, la biomasse microbienne est faiblement corrélée à la quantité de litière (Manlay, 2000). Il est à noter que les effets des pratiques culturales dans ces sols sableux sont moindres sur les stocks organiques que ceux enregistrés dans des sols argileux (Manlay, 2000 ; Manlay *et al.*, *soumis* ; Feller, 1994) ; dans ce contexte, il paraît plus pertinent d'adopter un indicateur qui intègre la biomasse microbienne et un paramètre de son activité ; cette démarche, initiée lors de ce programme, se poursuit actuellement.

Champignons mycorhiziens

Les jachères de longue durée entraînent une baisse de la biodiversité des espèces végétales et il a été montré que ces longues périodes d'abandon des cultures aboutissaient à une diminution de la présence et de l'activité de la symbiose mycorhizienne (Thompson, 1994). Les résultats obtenus dans ce programme indiquent que le nombre de spores est maximal

dans les jachères de moins de cinq ans; cela suggère que le phénomène symbiotique peut être optimisé sur une courte période; ce phénomène peut être accentué lorsque la végétation est protégée de l'impact des populations (feux de brousse, passage de troupeaux, etc.); en conséquence, afin de stimuler le développement des champignons mycorhiziens dans les sols de jachère, il est recommandé que les manipulations de jachères (jachères améliorées, systèmes agro-forestiers) soient raisonnées en utilisant des plantes dont on connaît la forte dépendance mycorhizienne (Plenchette *et al.*, 1983).

Démarche explicative : les espèces ou les taxa clés

Le sol est parcouru par un flux d'énergie et de matière générés par un ensemble de processus au centre desquels les processus initiés par les communautés microbiennes occupent un rôle essentiel; ces micro-organismes font eux-mêmes partis d'un réseau d'interactions (trophiques ou non) dont la nature et l'intensité contribuent significativement à ces flux; en conséquence, l'identification des espèces ou taxa clés responsables de ces processus coïncide parfaitement avec la démarche explicative; cette démarche, appliquée à des micro-organismes isolés et cultivés sur milieu, a fait l'objet de très nombreux travaux. Les techniques de biologie moléculaire ont permis de compléter les approches phénotypiques par des informations d'ordre génétique; force est de constater cependant que les résultats obtenus ne sont que très parcellaires dans la mesure où moins de dix pour cent des micro-organismes du sol sont cultivables (Head *et al.*, 1998); en outre, si les récents développements, fondés sur l'étude de la diversité génétique après extraction de l'ADN microbien, ont permis d'éviter l'étape d'isolement et de culture des micro-organismes, ces méthodes posent la question de la stratégie d'échantillonnage (taille du sol analysé, fréquence des prélèvements...) qui peut rendre compte de l'hétérogénéité du sol et des communautés qui le colonisent (Grundmann & Gourbière, 1999); malgré les progrès rapides des techniques de caractérisation des communautés microbiennes, la définition d'espèces microbiennes indicatrices est un chantier qui est en cours.

Cette démarche explicative peut néanmoins s'appliquer à d'autres groupes biologiques du sol; il est possible en outre d'obtenir indirectement des indications sur le compartiment microbien dans la mesure où ces groupes biologiques ont une action connue sur lui; dans ce domaine, les travaux sur les nématodes non phytoparasites constituent une très bonne illustration (Bongers, 1990; Ritz & Trudgill, 1999; Yeates & Bongers, 1999). L'étude de la nématofaune non phytophage du sol (nématodes bactériophages, fongivores, prédateurs et omnivores) a été approfondie lors de la remise en culture des différentes jachères du site de Sonkorong (Villenave *et al.*, en préparation). Seuls les termites et les nématodes phytoparasites font l'objet d'une discussion sur ce sujet.

Termites

Le choix des termites comme taxa clé se justifie par le fait qu'ils sont :

- les principaux décomposeurs de la matière organique disponible;
- liés aux flux d'énergie en tant que médiateurs des flux de carbone (Jones, 1990);
- l'élément principal de la macrofaune du sol (Sarr *et al.*, 1998).

L'entité «termite» n'est pas un groupe écologiquement homogène et son suivi peut masquer les profondes variations de répartition des différents groupes trophiques. On constate que certains groupes trophiques sont plus sensibles que d'autres à l'âge de la jachère : par exemple les xylophages stricts, comme l'espèce *Ancistrotermes crucifer*, dont le bois constitue l'habitat, disparaissent sous l'effet de la pression anthropique. Ces espèces sont donc de bonnes indicatrices des jachères âgées et (ou) protégées (exemple de *Ancistrotermes crucifer* présent uniquement dans la jachère de 10 ans). Les espèces aux régimes alimentaires plus diversifiées (litière, bois, plante sur pied) qui vivent dans le sol, comme celles des

genres *Microtermes* ou *Odontotermes*, semblent plus ubiquistes. Des espèces, comme *M. grassei*, peu sensibles à l'anthropisation, sont indicatrices des jachères jeunes (à Saré Yoro-bana) ou fortement perturbées (à Sonkorong). Les termites humivores représentent le groupe le plus sensible à l'âge de la jachère ; du point de vue de la diversité spécifique, ils constituent le deuxième groupe trophique, mais ils sont largement supplantés par les termites lignivores ; ils sont particulièrement présents dans les jachères âgées et ils constituent le groupe dominant dans la jachère protégée à Sonkorong ; ces résultats semblent indiquer que ce groupe trophique est un bon indicateur des jachères âgées et protégées ; une analyse plus fine montre cependant qu'on peut distinguer deux sous-groupes :

- le premier, qui est caractéristique des jachères jeunes, les Apicotermittinae ;
- le second, qui est constitué par la sous-famille des Termitinae, est plus caractéristique des jachères protégées ou faiblement perturbées.

La présence des Apicotermittinae dans les jachères jeunes de Sonkorong pourrait être dû à leur mode de vie souterrain et à leur alimentation plus diversifiée (Brauman *et al.*, 1999) ; dans leur majorité, les termites humivores du second groupe (sous-famille des Termitinae) vivent dans des nids épigés et se nourrissent exclusivement de sol relativement riche en matière organique ; ces caractéristiques les rendent vulnérables à toutes perturbations du milieu ; cette « sensibilité » est particulièrement spectaculaire en forêt tropicale humide où les termites humivores qui représentent quatre-vingts pour cent des cent quatorze espèces de forêt, disparaissent complètement des zones défrichées (Eggleton *et al.*, 1995) ; ce groupe trophique représente donc un indicateur biologique potentiel de l'état de perturbation du système ; leurs faibles densités à Sonkorong, cependant, à l'exception des jachères mises en défens, impliquent qu'ils représentent plus un indicateur qu'un véritable acteur de la restauration du sol de ces jachères arides.

La diversité des termites lignivores ou xylophages ne semblent pas directement corrélée à l'âge des jachères, mais leurs densités semblent affectées par le degré de perturbation anthropique ; ce groupe trophique est le troisième du point de vue de la diversité mais il peut devenir dominant ; ainsi, les lignivores qui dominent la jachère jeune de Sonkorong sont représentés presque exclusivement par deux espèces (*Eremotermes* sp. et *Amitermes spinifer* ; Sarr *et al.*, 1998) ; leur répartition selon l'âge de la jachère dépend surtout de la disponibilité en bois au sol ; dans une jachère du même âge (17 ans), leurs fréquences relatives augmentent de trente pour cent dans la jachère mise en défens ; ce groupe est donc particulièrement sensible à l'activité anthropique, notamment aux brûlis, défrichage et prélèvements de bois ; cette sensibilité varie cependant en fonction des espèces : celles qui vivent dans le sol, comme *Amitermes evuncifer*, sont moins sensibles que celles qui forment des nids de type stercoral (*Microcerotermes* sp.) ou celles qui vivent dans le bois (*Amitermes guineensis*).

Nématodes phytoparasites

La plupart des espèces qui se développent pendant la phase de jachère : *Helicotylenchus dihystera*, *Pratylenchus pseudopratensis*, *Tylencho-rhynchus mashhoodi* et *+iphinema* spp., sont susceptibles, au moins pour les trois premières (Baujard, 1986), de parasiter le mil et les autres plantes de la rotation ; leur disparition apparaît plutôt liée à des questions de compétitions inter-spécifiques ou de perturbation du milieu tellurique (destruction de la structure du sol par les techniques culturales) ; de ce fait, ces espèces – en particulier celles du genre *+iphinema* – constituent de bons indicateurs de stabilisation de l'écosystème ; en

outre, l'augmentation de la fréquence relative de l'espèce *Helicotylenchus dihystra*, faiblement pathogène, semble être un indicateur de la diminution de la pathogénie du peuplement ; *Helicotylenchus dihystra* pourrait jouer un rôle modérateur au sein du peuplement auquel elle appartient (Villenave & Cadet, 1998).

Références

- Abbadie 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.
- Agbogba C. & Roy-Noël M. (1982). « L'attaque des arbres par les termites dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). III. Cas du parc forestier de Dakar-Hann sur sables ogoliens », *Bulletin de l'Ifan*, n° 44 : pp. 342-364.
- Alexander M. (1997). *Introduction to Soil Microbiology*, 2^e éd., New York, John Wiley & Sons.
- Amann R.L., Ludwig W. & Scheidler K.H. (1995). « Phylogenetic identification & in situ detection of individual microbial cells without cultivation », *Microbiol. Rev.*, n° 59 : pp. 143-169.
- Amato M. (1983). « Determination of carbon ¹²C and ¹⁴C in plant and soil », *Soil Biology & Biochemistry*, n° 15 : pp. 611-612.
- Anderson J.M. & Ingram J.S.I. (1992). *A handbook of methods*, Oxford, Cab.
- Balandreau J., N'dri Allou R., Villemin G., Weinhard P. & Villecourt P. (1976). « Fixation rhizosphérique de l'azote [C₂H₂] en savane de Lamto », *Revue Écologie Biologie du Sol*, n° 13 : pp. 529-544.
- Barbault R. (1992). *Écologie des peuplements*, Paris, Masson, 273 p.
- Barea J.M., Azcon-Aguilar C. & Azcon R. (1987). « Vesicular-arbuscular mycorrhiza improve both symbiotic N₂ fixation and N uptake from soil as assessed with a ¹⁵N technique under field conditions », *New Phytologist*, n° 106 : pp. 717-725.
- Barea J.M., El-Atrach F. & Azcon R. (1991). « The role of VA mycorrhizas in improving plant N acquisition from soil as assessed with ¹⁵N », in Flitton (éd., 1991) : pp. 677-808.
- Barois I. & Lavelle P. (1986). « Changes in respiration rate and some physiochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontosclex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) », *Soil Biol. Biochem.*, n° 18 : pp. 539-541.
- Baujard P. (1986). « Écologie des nématodes dans le bassin arachidien du Sénégal », *Revue Nématol.*, n° 9 : p. 288.
- Beare M.H., Coleman D.C., Crossley Fr.D.A., Hendrix P.F. & Odum E.P. (1995). « A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling », *Plant and Soil*, n° 170 : pp. 5-22.
- Belsky A.J., Mwonga A.M., Amundson R.G., Duxbury J.M. & Ali A.R. (1993). « Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high- and low-rainfall savannas », *J. Appl. Écol.*, n° 30 : pp. 413-455.
- Bergersen F., éd. (1980). *Methods for evaluating biological Nitrogen fixation*, Chichester, John Wiley & Sons.
- Bernhard-Reversat F. (1982). « Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna », *Oikos*, n° 38 : pp. 321-332.
- Bethlenfalvay G.J. & Linderman R.G. (1992). « Mycorrhizae in sustainable agriculture », Madison (Wisconsin, É.-U.A.), *ASA Special Publication*, n° 54.
- Blanchart E., Albrecht A., Alegre J., Dubois A., Gilot C., Pashanasi B., Lavelle P. & Brussaart L. (1999). Effects of earthworms on soil structure and physical properties in Lavelle *et al.* (éd., 1999) : pp. 173-197.
- Blanchart E., Bruand A. & Lavelle P. (1993). « The physical structure of casts of *Millsonia anomala* (Oligochaeta : Megascloecidae) in shrub savanna soils (Côte-d'Ivoire) », *Geoderma*, n° 56 : pp. 119-132.
- Bolan N.S. (1991). « A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plant », *Plant and Soil*, n° 134 : pp. 189-207.
- Bongers T. (1990). « The maturity index : an ecological measure of environment disturbance based on nematodes species composition », *Oecologia*, n° 83 : pp. 14-19.

- Bottner P. & Billès G. (1987). « La rhizosphère : site d'interactions biologiques », *Rev. Écol. Biol. Sol*, n° 24 : pp. 369-388.
- Brauman A. & Fall S. (1998). « Influence of soil feeding termite and their associated microflora on the soil organic matter transformation », Congrès mondial de sciences du sol, Montpellier, 20-26 août 1998 : p. 9.
- Brauman A., S. Fall & J.-L. Chotte, 1999. « Comparaison du compartiment physique organique et microbien des termitières de deux régimes alimentaires dominants (champignoniste et humivore) des jachères de Haute-Casamance (Sénégal) », *La jachère en Afrique tropicale*, Dakar, 13-16 avr. 1999.
- Brian M.V., éd. (1978). *Production Ecology of ants and termites*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Brussaard L. & Ferrera-Cerrato R. (éd.) (1997). *Soil ecology in sustainable agricultural systems*, New York, Lewis publishers.
- Bullock S.H., Mooney H.A. & Medina E. (éd.) (1995). *Seasonally dry tropical forests*, Cambridge University Press.
- Bürkert B. & Robson A. (1994). « Zn uptake in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root free sandy soil », *Soil Biology & Biochemistry*, n° 26 : pp. 1117-1124.
- Cadet P. & Pate E. (1998). « Jachères et nématodes », *Raccourcissement du temps de jachère : Biodiversité et Développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali)*, Contrat CEE TSA-CT93 (DG 12) : pp. 131-135.
- Cadet P. (1986). « Évolution des nématodes ectoparasites dans la rhizosphère de la canne à sucre au Burkina Faso », *Revue Écol. Biol. Sol*, n° 23 : pp. 205-213.
- Chaussod R., Nicolardot B., Catroux G. & Chrétien J. (1986). « Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés », *Science du sol, Bulletin AFES*, n° 2 : pp. 213-226.
- Chotte J.-L., Schwartzman A., Bailly R. & Jocteur Monrozier L., soumis. « Changes in bacterial communities and Azospirillum diversity in a tropical soil under 3yr and 19yr natural fallow assessed by soil fractionation », *Soil Biology & Biochemistry*.
- Chotte J.-L., Villemin G., Guilloire P. & Jocteur Monrozier L. (1994). « Morphological aspects of microorganism habitats in a vertisol », in Ringrose-Voase & Humphreys (éd., 1994) : pp. 395-403.
- Chotte J.-L., Ladd J.N. & Amato M. (1998). « Sites of microbial assimilation and turnover of ^{14}C soluble and particulate substrates decomposing in a clay soil », *Soil Biol. & Biochem.*, vol. XXX n° 2, pp. 205-218.
- Cirad (éd.) (1990). *Savanes d'Afrique, terres fertiles*, Montpellier.
- Cogle A.L., Redy M.V.R., Rao K.P.C., Smith G.D., McGarry D. & Yule D.F. (1995). « The role of biological practices and the soil biota in management of sealing, crusting and hard setting soils », in So et al. (éd., 1995) : pp. 305-324.
- Colleuille H., Kaloga B., Braudeau É. & Grimaldi M. (1994). « Critères physiques de différenciation des sols ferrallitiques et des sols ferrugineux », *C.R. Acad. Sci.*, sér. II : pp. 1375-1382.
- Cooper K.M. (1984). « Physiology of VA mycorrhizal associations », in Powell & Bagyaraj (éd., 1984) : pp. 155-188.
- Dangerfield J.M. (1990). « Abundance, biomass and diversity of soil macrofauna in savanna woodland and associated managed habitats », *Pedobiologia*, n° 34 : pp. 141-150.
- Dehne H.W. (1982). « Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens », *Phytopathology* n° 72 : pp. 1115-1119.
- Diatla M. (1994). *Mise en défens et techniques agroforestières à Siné Saloum (Sénégal). Effet sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire*, th. doct., univers. Strasbourg-I, 202 p.
- Dick R.P. (1992). « A review : Long terms effects of agricultural system on soil biochemical and microbial parameters. Agriculture », *Ecosystems and Environment*, n° 40 : pp. 25-36.
- Dick R.P. & Gupta V.V.S.R. (1994). « A conceptual model for the role of abiotic soil enzymes in microbial ecology : a potential analogue for soil quality », in Pankhurst et al. (éd., 1994) : pp. 167-168.
- Döbereiner J. & Pedrosa F.O. (1987). « Nitrogen fixing bacteria in nonleguminous crop plants », *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, n° 43 : pp. 951-955.
- Dommergues Y. & Mangenot F. (1970). *Écologie microbienne du sol*, Paris, Masson, 796 p.

- Dubois A. (1996). « Étude de l'activité et de la distribution de la macrofaune du sol en fonction du mode d'utilisation du sol », *Raccourcissement du temps de jachère : Biodiversité et Développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali)*, rapport scient., Comm. des communautés europ., Contrat TSA-CT93 (DG 12) : pp. 49-53.
- Duponnois R. & Bâ A.M. (1998). « Influence of the microbial community of a sahel soil on the interactions between *Meloidogyne javanica* and *Pasteuria penetrans* », *Nematologica*, n° 44 : pp. 331-343.
- Duponnois R. & Cadet P. (1994). « Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus* sp. on growth and N₂ fixation of *Acacia seyal* », *Afro-Asian Journal of Nematology*, n° 4 : pp. 228-233.
- Duponnois R., Bâ A.M. & Mateille T. (1998). « Effects of some rhizosphere bacteria for the biocontrol of nematodes of the genus *Meloidogyne* with *Arthrobotrys oligospora* », *Fundamental & Applied Nematology*, vol. XXI, n° 2 : pp. 157-163.
- Duponnois R., Plenchette C., Thioulouse J. & Cadet P., *soumis*. « Infectivity and am fungal spore communities of different aged fallows in Sénégal », *Applied Soil Ecology*.
- Duponnois R., Cadet P., Senghor K. & Sougoufara B. (1997). « Étude de la sensibilité de plusieurs acacias australiens au nématode à galles *Meloidogyne javanica* », *Annales des Sciences forestières*, n° 54 : pp. 181-190.
- Eggleton P., Bignell D.E., Sands W.A., Waite T.G., Wood B. & Lawton J.H. (1995). « The species richness of termites (Isoptera) under differing levels of forest disturbance in the Mbalmayo Forest Reserve, Southern Cameroon », *Journal of Tropical Ecology*, n° 11 : pp. 85-98.
- Elliott E.T. (1986). « Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils », *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n° 50 : pp. 627-633.
- Elliott E.T. (1994). « The potential use of soil biotic activity as an indicator of productivity, sustainability and pollution », in Pankhurst *et al.* (éd., 1994) : pp. 250-256.
- Elliott E.T. & Coleman D.C. (1988). « Let the soil work for us. », *Ecol. Bull.*, n° 39 : pp. 23-32.
- Fall S., Sarr M., Rouland C., Agbogba C. & Brauman A. (1999). « Effet de l'âge de la jachère et de la saison sur la densité et la biodiversité des termites : (Haute-Casamance, Sénégal) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : pp. 259-267.
- Feller C. (1993). « Organic input, soil organic matter and functional soil organic matter compartments in low-activity soils in tropical zones », in Mulongoy & Merckx (éd., 1993) : pp. 77-88.
- Ferris H., Venette R.C. & Lau S.S. (1997). « Population energetics of bacterial-feeding nematodes : carbon and nitrogen budgets », *Soil. Biol. Biochem.*, n° 29 : pp. 1183-1194.
- Flitton C. (éd.) (1991). *The Use of Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies*, Vienne, I.A.E.A.-F.A.O. Division.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale : Rôles, aménagement, alternatives*, Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avr. 1999.
- Floret Ch., Pontanier R. & Serpantié G. (éd.) (1993). *La Jachère en Afrique tropicale*, Mab 16 :
- Floret Ch. (éd.) (1996). *La jachère, lieu de production*, Coraf.
- Floret Ch. (éd.) (1998). *Raccourcissement du temps de jachère : Biodiversité et Développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et de l'Ouest (Mali, Sénégal)*, rapport final, Bruxelles, UE/DG+II.
- Foster R.C. (1986). « The ultrastructure of the rhizoplane and the rhizosphere », *Ann. Rev. Phytopathol.*, n° 24 : pp. 211-234.
- Fournier A., Floret Ch. & Gnahoua G.M. (2000). « Végétation des jachères et succession post-culturale en Afrique tropicale », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : pp. 123-168.
- Francis R. & Read D.J. (1994). « The contribution of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure », *Plant and Soil*, n° 159 : pp. 11-25.
- Frontier S. & Pichod-Viale D. (1995). *Écosystèmes structure, fonctionnement, évolution*, Paris, Masson, 445 p.
- Ganry F. & Campbell B. (éd.) (1993). *Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions*, Cijad.
- George E., Haussler K., Vetterlein G., Gorgus E. & Marschner H. (1992). « Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseae* », *Canadian Journal of Botany*, n° 70 : pp. 2130-2137.
- Gerdemann J.W. (1968). « Vesicular-arbuscular mycorrhizae and plant growth », *Annual Review of Phytopathology*, n° 6 : pp. 397-418.

- Gerdemann J.W. & Nicolson T.H. (1963). « Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting », *Transaction of the British Mycological Society*, n° 46 : pp. 235-244.
- Giller K.E., Beare M.H., Lavelle P., Izac A.M.N. & Swift M.J. (1997). « Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function », *Applied Soil Ecology*, n° 6 : pp. 3-16.
- Gilot C., Lavelle P., Blanchart E., Kouassi P. & Guillaume G. (1994). « Biological activity of soils in Hevea stands of different ages in Côte-d'Ivoire », *Acta Zoologica Fennica*, n° 196 : pp. 186-189.
- Gray T.R.G. & Williams S.T. (1971). *Soil Microorganisms*, Edimbourg (R.U.), Oliver & Boyd.
- Grundmann L.G. & Goubière F. (1999). « A micro-sampling approach to improve the inventory of bacterial diversity in soil », *Applied Soil Ecology*, n° 13 : pp. 123-126.
- Gupta V.V.S.R. & Germida J.J. (1988). « Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation », *Soil Biology & Biochemistry*, n° 20 : pp. 777-786.
- Hamel C.Y., Dalpé, Furlan V. & Parent S. (1997). « Indigenous populations of arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregate stability are major determinants of leek (*Allium porrum* L.) response to inoculation with *Glomus intraradices* Schanck & Smith or *Glomus versiforme* (Karsten) Berch. », *Mycorrhiza*, n° 7 : pp. 187-196.
- Harley J.L. & Smith S.E. (1983). *Mycorrhizal symbiosis*, Londres-New York, Academic Press.
- Hattori T. (1988). « Soil aggregates as microhabitats of microorganisms », in Hattori (éd., 1988) : pp. 49-62.
- Hattori T. (éd.) (1988). *Protozoa in Soil Microhabitat*, Sendai, Tohoku University.
- Hauser S., Vanlauwe B., Asawalam D.O. & Norgrove L. (1997). « Role of earthworms in traditional and improved low-input agricultural systems in west Africa », in Brussaard & Ferrera-Cerrato (éd., 1997) : pp. 113-137.
- Head I.M., Saunders J.R. & Pickup R.W. (1998). « Microbial evolution, diversity, and ecology : a decade of ribosomal RNA analysis of uncultivated microorganisms from soils », *Soil Biology and Biochemistry*, n° 23 : pp. 217-225.
- Ingham E.R., Trofimow J.A., Ingham E.R. & Coleman D.C. (1985). « Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers : Effects on nutrient cycling and plant growth », *Ecol. Monogr.*, n° 55 : pp. 119-140.
- Jeffries P., Spyropoulos T. & Vardavarkis E. (1988). « Vesicular-arbuscular mycorrhizal status of various crops in different agricultural soils of northern Greece », *Biology and Fertility of Soils*, n° 5 : pp. 333-337.
- Jenkinson D.S. & Powlson D.S. (1976). « The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass », *Soil Biology & Biochemistry*, n° 8 : pp. 209-213.
- Jones I.A. (1990). « Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa, a hypothesis », *Journal of Tropical Ecology*, n° 6 : pp. 291-305.
- Jordan D., Kremer R.J., Bergfield W.A., Kim K.Y. & Cacio V.N. (1995). « Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields », *Biology and Fertility of Soils*, n° 19 : pp. 297-302.
- Kabir M. D.M., Chotte J.-L., Rahman M., Bally R. & Jocteur Monrozier L. (1994). « Distribution of soil fractions and location of soil bacteria in a vertisol under cultivation and perennial grass », *Plant and Soil*, n° 163 : pp. 243-255.
- Kaire M. (1996). « La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme en zone soudano-soudanienne et soudano-sahélienne du Sénégal », in Floret (éd., 1996) : pp. 1-16.
- Kilbertus G. (1980). « Étude des microhabitats contenus dans les agrégats du sol, leur relation avec la biomasse bactérienne et la taille des procaryotes présents », *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, n° 12 : pp. 363-374.
- Killham K., Amato M. & Ladd J.N. (1993). « Effect of substrate location in soil and soil pore-water regime on carbon turnover », *Soil Biology and Biochemistry*, vol. XXV, n° 1 : pp. 57-62.
- Lavelle P. & Pashanasi B. (1989). « Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto) », *Pedobiologia*, n° 33 : pp. 283-291.
- Lavelle P., Martin A., Martin S., Blanchart E. & Gilot C. (1991). « Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la faune du sol », in Cirad (éd., 1990) : pp. 370-398.
- Lavelle P., Brussaard L. & Hendrix P. (éd.) (1999). *Earthworm management in tropical agroecosystems*, Wallingford (R.-U.), C. international.
- Lensi R., Clays-Josserand A. & Jocteur Monrozier L. (1995). « Denitrifiers and denitrifying activity in size fractions of a mollisol under permanent pasture and continuous cultivation », *Soil Biology & Biochemistry*, n° 27 : pp. 61-69.

- Lepage M. (1981). «L'impact des populations récoltantes de *Macrotermes miichaelseni* (Sjöstedt) (Isoptera, Macrotermitinae) dans un écosystème semi aride (Kajiado, Kenya)», I, «L'activité de récolte et son déterminisme», *Ins. Soc.*, n° 28 : pp. 297-308.
- Letey J., Jury W.A., Hadas A. & Valoras N. (1980). «Gas diffusion as a factor in laboratory incubation studies on denitrification», *J. Environ. Qual.*, n° 9 : pp. 223-226.
- Linn D.M. & Doran J.W. (1984). «Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils», *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n° 48 : pp. 1267-1272.
- Lobry de Bruyn L.A. & Conacher A.J. (1994). «The bioturbation activity of ants in agricultural and naturally vegetated habitats in semi-arid environments», *Aust. J. Soil Res.*, n° 32 : pp. 555-570.
- Luc M., Sikora R.A. & Bridge J. (1990). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*, Wallingford (R.U.), Cad International, 629 p.
- Manlay R. (2000). *Dynamique de la matière organique dans un terroir agro-pastoral de la savane ouest-africaine (Sud-Sénégal)*, thèse doctorat de l'Engref, 195 p. + annexes.
- Manlay R., Chotte J.-L., Masse D., Laurent J.-Y. & Feller C., *soumis*. «Carbon, Nitrogen and Phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna», III, «The plant and soil components under continuous cultivation», *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Manlay R., Cadet P., Thioulouse J. & Chotte J.-L. (2000). «Relationship between abiotic and biotic properties during fallow periods in the sudanian zone of Sénégal», *Applied Soil Ecology*, n° 14 : pp. 89-101.
- Martin A. (1991). «Short- and long-term effects of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of tropical savannas, on soil organic matter», *Biol. Fertil. Soils*, n° 11 : pp. 234-238.
- Martinez Yrisar A. (1995). «Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forests», in Bullock *et al.* (éd., 1995) : pp. 326-345.
- Menaut J.-C. & César J. (1979). «Structure and primary productivity of Lamto savannas, Ivory Coast», *Ecology*, n° 60 : pp. 1197-1210.
- Mulongoy K. & Merckx R. (éd.) (1993). *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*, Chichester (R.U.), John Wiley & Sons : pp. 77-88.
- Newman E.I., Heap A.J. & Lawley R.A. (1981). «Abundance of mycorrhizas and root-surface microorganisms of *Plantago lanceolata* in relation to soil and vegetation : A multivariate approach», *New Phytologist*, n° 89 : pp. 95-108.
- Niang A. (1995). *Caractérisation pédohydrique des sites des essais du Programme jachère au Sénégal, a Sonkorong (Nioro du Rip) et Saré Yorobana (Kolda)*, mém. ingén., Ucad, 45 p. + annexes.
- Nicolardot B., Chaussod R. & Catroux G. (1982). «Revue des principales méthodes disponibles pour la mesure de la biomasse microbienne et ses activités», *Bulletin de l'association Française pour l'étude du sol*, n° 4 : pp. 253-261.
- Pages A. L. (éd.) (1982). *Methods of Soils Analysis*, Part. 2, Madison (WI), American Society of Agronomy, 450 p.
- Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. & Grace P.R. (éd.) (1994). *Soil biota : Management in sustainable farming systems*, Australie, C.S.I.R.O.
- Pate E. (1997). *Analyse spatio-temporelle des peuplements de nématodes du sol dans les systèmes de cultures à jachère au Sénégal*, th. 3^e cycle, univers. Claude-Bernard-Lyon-I, 175 p.
- Pate E., N'Diaye N., Gaudin R. & Cadet P. (1995). «Caractérisation et évolution des peuplements de nématodes en fonction de l'âge de la jachère au cours de la saison des pluies», *Raccourcissement du temps de jachère biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali)*, Contrat CEE TSA-CT93 (DG 12) : pp. 21-31.
- Pate E., Ndiaye-Faye N., Thioulouse J., Villenave C., Bongers T., Cadet P. & Debouzie D. (2000). «Successional trends in the characteristics of soil nematode communities in cropped and fallow lands in Sénégal (Sonkorong)», *Applied Soil Ecology*, n° 14 : pp. 5-15.
- Plenchette C., Fortin J.A. & Furlan V. (1983). «Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions», *Plant and Soil*, n° 70 : pp. 199-209.
- Plenchette C., Perrin R. & Duvert P. (1989). «The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas», *Can. J. Bot.*, n° 67 : pp. 112-115.
- Pontanier R. & Roussel O. (1998). «Les indicateurs du système Culture-Jachère» in Floret (éd., 1998) : pp. 203-229.

- Powell C.L. & Bagyaraj D.G. (éd.) (1984). *VA mycorrhiza*, Boca Raton (Floride), C.R.C. Press.
- Read D. J., Koucheki H.K. & Hodgson J. (1976). « Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. I. Occurrence of infection », *New Phytologist*, n° 77 : pp. 641-653.
- Reinecke A.J. (1983). « The ecology of earthworms in Southern Africa », in Satchell (éd., 1983) : pp. 195-207.
- Reynaud P. (1987). « Ecology of nitrogen-fixing cyanobacteria in dry tropical habitats of West Africa : a multivariate analysis », *Plant and Soil*, n° 98 : pp. 203-220.
- Ringrose-Voase A.J. & Humphreys G.S. (éd.) (1994). *Soil Micromorphology : Studies in Management and Genesis, Developments in Soil Science*, 22, Amsterdam, Elsevier.
- Ritz K. & Trudgill L. (1999). « Utility of nematode community analysis as an integrated measure of the functional state of soils : perspectives and challenges », *Plant and Soil*, n° 212 : pp. 1-11.
- Roberston G.P. & Rosswall T. (1986). « Nitrogen in West Africa : the regional cycle », *Ecological Monographs*, n° 56 : pp. 43-72.
- Rogers S.L. & Burns R.G. (1994). « Changes in aggregate stability, nutrient status, indigenous microbial populations, and seedling emergence following inoculation with *Nostoc muscorum* », *Biology and Fertility of Soils*, n° 187 : pp. 219-215.
- Ruiz L., Ganry F., Waneukem V., Oliver R. & Siband P. (1993). « Recherche d'indicateurs de la fertilité azotée des terres », in Ganry & Campbell (éd., 1993) : pp. 111-121.
- Sarr M., Agbogba C. & Russell-Smith A. (1998). « The effects of length of fallow and cultivation on termite abundance and diversity in the sahelian zone of Senegal : A preliminary note », *Pedobiologia*, n° 42 : pp. 56-62.
- Satchell J.E. (éd.) (1983). *Earthworm ecology. From Darwin to vermiculture*, Londres, Chapman and Hall.
- Sauerbeck D.R. & Johnen B.G. (1976). « Root formation and decomposition during plant growth », Colloque I.A.E.A.-SM-211/16 : pp. 141-147.
- Schultze E.D. & Mooney H.A. (éd.) (1993). *Biodiversity and ecosystem function, Ecological studies*, Springer Verlag, n° 99.
- Seifert J. (1964). « Influence of the size of soil structural aggregate on the degree of nitrification », *Folia microbiol.*, n° 9 : pp. 365-377.
- Seinhorst J.W. (1962). « Modifications of the elutriation method for extracting nematodes from soil », *Nematologica*, n° 8 : pp. 117-128.
- Serpantié G. (1993). « Rôles et significations de la jachère dans les systèmes de production agricole en Afrique de l'Ouest. problématique de son remplacement », in Floret et al. (éd., 1993) : pp. 55-84.
- So H.B., Smith G.D., Raine S.R., Schafer B.M. & Loch R.J. (éd.) (1995). *Sealing, Crusting and Hardsetting Soil : Productivity and Conservation*.
- Sparling G.P. (1992). « Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter », *Australian Journal of Soil Research*, n° 30 : pp. 195-207.
- Swift M.J., Heal O.W. & Anderson J.M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems : Studies in Ecology volumes*, Blackwell Scientific Publication, 370 p.
- Sylvia D.M., & Jarstfer A.G. (1992). « Sheared-root inocula of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi », *Appl. Environ. Microbiol.*, n° 58 : pp. 229-232.
- Tabatabai M.A. (1982). « Soil enzymes », in Pages (éd., 1982).
- Thompson J.P. (1994). « Inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi from cropped soil overcomes long-fallow disorder of linseed (*Linum usitatissimum* L.) by improving P and Zn uptake », *Soil Biology and Biochemistry*, n° 26 : pp. 1133-1143.
- Tilman D. (1993). « Community diversity and succession ; the role of competition, dispersal and habitat modification », in Schultze & Mooney (éd., 1993) : pp. 327-344.
- Turner G.L. & Gibson A.H. (1980). « Measurement of nitrogen fixation by indirect means », in Bergersen (éd., 1980) : pp. 111-138.
- Verhoef H.A. & Brussaard L. (1990). « Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems : the contribution of soil animals », *Biogeochemistry*, n° 11 : pp. 175-211.
- Villenave C. & Cadet P. (1998). « Interaction of *Helicotylenchus dihystra*, *Pratylenchus pseudopraetensis*, and *Tylenchorhynchus gladiolatus* on two plants from the soudano-sahelian zone of West Africa », *Nematologica*, n° 28 : pp. 31-39.
- Villenave C., Charpentier F., Lavelle P., Feller C., Brussaard L., Pashanasi B., Barois I., Albrecht A. & Patron J.C. (1999). « Effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics fol-

- lowing earthworm inoculation in field experimental situations », in Lavelle *et al.* (éd., 1999) : pp. 173-197.
- Villenave C., Bongers T., Ekschmitt K., Djigal D. & Chotte J.-L., *en prép.* « Cultivation of soils after different lengths of fallow : changes in nematode communities », *Applied Soil Ecology*.
- White F. (1986). *La végétation de l'Afrique*, Paris, Orstom-Unesco, 384 p.
- Woese C.R. (1987). « Bacterial evolution », *Microbiological Reviews*, vol. LI, n° 2 : pp. 221-271.
- Woods T.G. & Sands W.A. (1978). « The role of termites in ecosystems », in Brian (éd., 1978) : pp. 245-292.
- Yeates G.W. & Bongers T. (1999). « Nematodes diversity in agroecosystems », *Agriculture, Ecosystems & Environments*, n° 74 : pp. 113-135.

Végétation des jachères et succession post-culturelle en Afrique tropicale

Anne Fournier*, Christian Floret**, Guy-Modeste Gnahoua***

En Afrique tropicale, un système d'utilisation des terres très courant consiste en une phase de culture, suivie d'un abandon du champ dès qu'une baisse de rendement du travail se fait sentir. Cette phase de repos permet, en vingt à quarante ans, un retour à la savane originelle avec une bonne reconstitution des potentialités du sol et de la biodiversité ; en général, elle est mise à profit pour d'autres utilisations du milieu : pâturage de troupeaux domestiques, prélèvement de bois à usages divers (Floret & Pontanier, 1993). Ce système, qui peut paraître archaïque, était en fait extrêmement bien adapté aux conditions de faible densité de population qui prévalaient dans ces régions jusqu'à une date récente (Serpantié, 1993). Actuellement, l'augmentation de la population, la tendance à la sédentarisation, la sécheresse, ont conduit à une forte augmentation des surfaces cultivées et à une diminution moyenne des temps de jachère, ce qui désorganise le système et bouleverse les paysages.

Sous l'effet d'une mise en culture généralisée, les paysages de savane et de forêt de l'Afrique tropicale sont en évolution permanente. Ils se présentent comme des mosaïques de champs cultivés, de jachères à divers stades de reconstitution et de zones incultivables ou protégées. La grande variété de physionomies et de compositions floristiques observée dans les jachères reflète les étapes du processus de succession postculturelle et leurs diverses modalités en fonction des milieux et des régions. On sait que ces variabilités temporelle et spatiale sont sous le contrôle de divers facteurs, dont certains sont liés aux activités des hommes. Il est certain que le climat, les sols, les façons culturales, etc., ont un effet sur les successions, mais il est encore difficile de dire selon quelle hiérarchie s'organise leur influence. De même est-il difficile d'interpréter les variations de la richesse floristique, de la diversité et de la production dans ces milieux.

Le premier objectif de ce chapitre est d'examiner ces questions en s'appuyant sur les données fournies par la littérature d'une part, sur les travaux qui viennent d'être réalisés dans le cadre du programme Jachère, d'autre part. Les sites sur lesquels s'appuie cette étude sont référencés dans le tableau I. Il s'agit de construire un schéma général de la succession post-culturelle suffisamment complet et robuste pour englober les nombreuses variations observées. Ce sont surtout l'importance relative des facteurs écologiques et celle de la

* Ermes, Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), 5, rue du Carbone, 45072 Orléans (France).

** Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

*** C.N.R.A., B.P. 110, Oumé (Côte-d'Ivoire).

diversité floristique qui seront approfondies ici, les questions de biomasse et de production étant traitées par ailleurs (Achard *et al.*, 2000). Le défrichement et la reconstitution qui s'ensuit induisent localement sur chaque parcelle une évolution cyclique ; mais, à l'échelle des paysages, il se produit en outre une évolution des milieux dans leur ensemble qui transforme les écosystèmes de forêts et de savane en d'autres types, mieux adaptés aux nouvelles contraintes imposées par le raccourcissement du temps de jachère et par l'anthropisation poussée des milieux.

Le deuxième objectif de ce chapitre est d'essayer de proposer une interprétation de ces transformations dans le cadre de la théorie écosystémique et de la succession végétale.

Tableau I. Les sites d'étude et leur cadre éco-climatique.

Zone éco-climatique	Pluviosité annuelle (mm)	Pays	Latitude (N)	Site	*
Centre régional d'endémisme guinéo-congolais	1 900	Cameroun	2° 47'	Kribi	1a
	1 900	Côte-d'Ivoire	6° 30'	Taï	3
	1 500	Togo	10° 30' 11° 28'	Plateau Akposso	2
Zone de transition régionale guinéo-congolais soudanien	1 200	Côte-d'Ivoire	6° 15'	Oumé	11a 3
	1 200	Côte-d'Ivoire	6°	Lamto	11a
	1 225	Côte-d'Ivoire	8° 05' 10° 40'	Touba	11a
	1 200	Sénégal	Vers 12° 30'	Basse-Casamance	11a
	1 100	Sénégal	Vers 12° 50'	Kolda	11a
				Haute-Casamance	
Centre régional d'endémisme soudanien	1 200	Cameroun	Vers 8° 40'	Ngong (Garoua)	27
	1 000-1 100	Bénin	9° 4' 51"	Nikki Kalale	27
	800-1 000	Mali	12° 16'	Gouani	27
	772	Burkina Faso	12° 50'	Sobaka	30
	1 000-1 100	Cameroun	9° à 10°	Garoua	29a
	800-900	Burkina Faso	11° 51'	Bondukuy	29a
	800-1 000	Burkina Faso	12° 16'	Thiougou	29a
	780	Burkina Faso	12° 25'	Gampéla	29a
	800-900	Sénégal	vers 13° 40'	Tambacounda Sénégal Oriental	29a
	800	Cameroun	vers 10° 30'	Maroua (Midawa)	29a
	800	Cameroun	vers 11° 20'	Moula-Gazad	29a
Zone de transition régionale du Sahel	600	Cameroun	13° 40'	Kolofata	29a
	700-800	Mali	13° 45'	Missira	29a
	600	Mali	vers 13° 30'	Dalonguebougou	29a
	600	Cameroun	10° 40'	Maroua	29a
	300-400	Niger	13° à 14°	Banizoumbou	29a

* Unité de la carte phytogéographique de White (1986).

Cadre éco-climatique de la zone d'étude

Le gradient phytogéographique et climatique ouest-africain

Le long du gradient climatique ouest-africain, les communautés végétales peu anthropisées se caractérisent par une plus ou moins individualisée pour chaque région. Dans la zone qui correspond à nos sites d'étude (tableau I), White (1986) reconnaît quatre unités phytogéographiques, disposées plus ou moins parallèlement à l'équateur :

- le centre régional d'endémisme guinéo-congolais ;
- la zone de transition régionale guinéo-congolais soudanien ;
- le centre régional d'endémisme soudanien ;
- la zone de transition régionale du Sahel.

Le centre régional d'endémisme guinéo-congolais

Dans le centre régional d'endémisme guinéo-congolais, la pluviosité annuelle à régime bimodal atteint mille six cent à deux mille millimètres ; il n'y a jamais moins de cinquante millimètres et généralement plus de cent millimètres de précipitations par mois. Environ huit mille espèces végétales sont présentes dont quatre-vingts pour cent sont endémiques ; une dizaine de familles et un quart des genres sont également endémiques. La plus grande partie de la région était autrefois couverte de forêts tropicales humides et de forêts marécageuses sur sols hydromorphes, mais il reste aujourd'hui peu de forêts non remaniée. De grandes superficies sont couvertes par des formations herbacées secondaires et différents stades de recrû forestier. La végétation des sites étudiés (Togo) appartient uniquement aux types les plus secs semi-décidus, localisés en bordure de la forêt au contact de la zone suivante.

La zone de transition régionale guinéo-congolais soudanien

La zone de transition régionale guinéo-congolais soudanien reçoit annuellement environ mille quatre cents à mille six cents millimètres de pluie avec une répartition saisonnière unimodale ou plus ou moins bimodale (seulement 800 à 1 000 mm dans le sud du Togo et du Bénin, mais alors avec un régime fortement bimodal). La flore comporte moins de deux mille espèces, pratiquement toutes à extension guinéo-congolaise ou soudanienne, avec très peu d'endémiques. Pour White (1986), une grande partie de la végétation, forestière à l'origine, mais détruite par le feu et les cultures, a été remplacée par des formations herbeuses secondaires. Ces savanes se rencontrent en mosaïque avec de petits îlots de forêt primitive, généralement très dégradés, et de petits îlots de fourrés et de forêt secondaires. D'autres auteurs (Christ, 1892 ; Schnell, 1950) pensent plutôt que ces savanes ont une origine paléoclimatique ; elles seraient des reliques d'épisodes plus secs du Quaternaire ; sous le climat actuel, elles tendent à céder la place à la forêt. Les sites de Côte-d'Ivoire et du Bénin sont représentatifs de ce type de végétation.

Le centre régional d'endémisme soudanien.

Une grande partie des sites de notre zone d'étude (au Mali, au Sénégal, au Burkina Faso et au Cameroun) se rattache au centre d'endémisme soudanien. White (1986) décrit cette zone comme une bande qui s'étire à travers toute l'Afrique depuis la côte du Sénégal jusqu'au pied des hauts plateaux de l'Éthiopie. Le climat y est à régime unimodal vers le nord, légèrement bimodal vers le sud, avec cinq cents à mille quatre cents millimètres de précipitations par an et une température moyenne annuelle de vingt-quatre à vingt-huit degrés Celsius ; la saison sèche y est rigoureuse à cause de l'harmattan. Du point de vue floristique, la zone ne renferme sans doute pas plus de deux mille sept cent cinquante espèces, dont un tiers sont endémiques. Il n'existe pas de famille et peu de genres endémiques. Parmi les types

de végétation naturelle et semi-naturelle qui subsistent, les plus nombreux et les plus caractéristiques sont divers types de forêts claires ; certains auteurs (Aubréville, 1950 ; Chevallier, 1951 ; Aubréville, 1957) ont émis l'hypothèse que la végétation climacique était une forêt dense sèche. Dans cette vaste région, il existe des variations de climat et de flore ; les sites considérés ici appartiennent surtout à la partie septentrionale de la région soudanienne : celle de la forêt claire indifférenciée. La végétation primitive y était sans doute une forêt claire floristiquement riche, dans laquelle *Isobertia doka* était absent ou très localisé. Mais presque toute la zone est intensément cultivée ou l'a été dans le passé ; le paysage se compose actuellement de savanes arbustives et arborées ou de parcs, où les arbres économiquement importants sont préservés. Sur les sols non cultivés, la forêt claire a subi une profonde dégradation.

La zone de transition régionale du Sahel

Le climat de la zone de transition régionale du Sahel se caractérise par cent cinquante à cinq cents millimètres de précipitations par an très irrégulièrement réparties en trois ou quatre mois de saison des pluies. La flore comprend environ mille deux cents espèces ; moins de quarante (3 p. cent) sont des endémiques strictes ; cent cinquante (12,5 p. cent) autres sont plus ou moins confinées au Sahel ou à d'autres parties d'Afrique ou d'Asie avec un climat similaire ou plus sec. Sur les sols sablonneux du sud du Sahel, la végétation se compose d'un tapis graminéen plus ou moins continu de moins de soixante centimètres de haut, à espèces en grande majorité annuelles et d'une strate ligneuse à densité très variable mais souvent faible, à base d'acacias et de quelques autres genres. Sur les affleurements rocheux, cette végétation fait place à un type buissonnant. Toute cette région est soumise à une forte pression de la part des populations. Le site de Banizoumbou au Niger peut se rattacher à cette unité où il se situe à la limite méridionale.

Le gradient de fonctionnement des communautés végétales peu anthropisées

La différenciation floristique des communautés s'accompagne d'une variation dans la structure de la végétation et dans son fonctionnement énergétique. Celle-ci a été décrite pour la région qui correspond au centre régional d'endémisme soudanien en Côte-d'Ivoire et au Burkina Faso par Fournier (1991), pour la strate herbacée des savanes, et par Devineau (1984, 1997), pour les formations ligneuses de forêt et de savane. En savane, la proportion d'herbacées pérennes par rapport aux herbacées annuelles, la hauteur de la végétation, la production primaire nette, la durée de la période saisonnière de croissance, augmentent avec la quantité des pluies et avec la régularité de leur distribution. Sur le même gradient d'humidité climatique croissante, la production nette des peuplements ligneux forestiers augmente, essentiellement à cause d'une densité plus élevée. Par ailleurs, l'allocation aux structures racinaires, à la reproduction et à la formation d'organes de protection diminue avec l'humidité.

Donfack (1998) fait des observations similaires au Cameroun : les zones les plus sèches se caractérisent par l'abondance des herbacées annuelles, la rareté des herbacées pérennes et l'abondance des épineux dans la strate ligneuse.

Quelques exemples de successions végétales post-culturelles

Zone de transition régionale du Sahel

Le site de Banizoumbou près de Niamey (Niger) présente une végétation proche de la formation à *Combretum glutinosum* et *Guiera senegalensis* sur sols gréseux décrite par White (1986) pour le Jebel Marra dans la zone de transition régionale du Sahel.

Dans tous les milieux post-culturels de la région, l'arbuste *Guiera senegalensis* domine strictement la strate ligneuse, d'ailleurs extrêmement pauvre. C'est seulement dans les stations les plus humides qu'il est remplacé par *Piliostigma reticulatum*, *Combretum glutinosum*, *Annona senegalensis* ou *Hyphaene thebaica* (Delabre, 1998). Durant les cinq premières années d'abandon cultural, les ligneux qui étaient présents sous forme de rejets de souche lors de la mise en jachère augmentent en taille, mais il n'y a que peu de recrutement. Au-delà de cinq ans, taille et phytovolume diminuent, témoignant du vieillissement de la population. La flore herbacée, pauvre elle aussi, est dominée par un groupe d'espèces ubiquistes (*Zornia glochidiata*, *Eragrostis tremula*, *Mitracarpus scaber*) pendant toute la phase post-culturelle. Une dynamique successione existe cependant : vers quatre à cinq ans plusieurs familles sont bien représentées, puis ce sont les graminées qui dominent avec apparition d'espèces de grande taille (*Aristida* spp., *Ctenium elegans*, *Andropogon gayanus*) ; plus tard enfin s'affirme la légumineuse *Zornia glochidiata*. Les graminées pérennes, représentées presque exclusivement par *Andropogon gayanus*, restent très peu abondantes, même aux stades âgés. En fait, la plupart des vieilles jachères correspondent à un état dégradé par l'homme, où la dynamique de succession ne s'exprime qu'imparfaitement. Des observations analogues ont été faites sous un climat semblable à Dalmbedougou au Mali (Cissé *et al.*, 1993) et dans le delta intérieur du Niger (Hiernaux, 1983).

Centre régional d'endémisme soudanien

Sous six cents millimètres de précipitations moyennes annuelles

Dans la région de Maroua, au Nord du Cameroun, les herbacées adventices (*Digitaria ciliaris*, *Acalypha ciliata*, *Urochloa trichopus*, *Brachiaria lata*, etc.) dominantes pendant une année, sont remplacées jusqu'à la quatrième année environ par d'autres herbacées (*Setaria pumila*, *Zornia glochidiata*) ; le seul ligneux dominant à ce stade est *Piliostigma thonningii*, protégé dans les cultures (Donfack, 1993). D'autres ligneux, provenant de rejets de souche, se mettent en place à cette époque, mais leur densité reste très faible ; ce n'est que plus tard qu'apparaîtront des espèces issues de graines. De cinq à vingt ans environ, ce sont les ligneux *Guiera senegalensis*, *Anogeissus leiocarpus* ou *Acacia seyal* qui deviennent dominants. Ils sont accompagnés des herbacées *Loudetia togoensis*, *Sporobolus festivus*, *Heteropogon contortus*, *Andropogon fastigiatus*... Dans les jachères de plus de vingt ans, ce sont *Sclerocarya birrea* ou *Acacia ataxacantha* qui dominent dans la strate arborée ; *Hygrophila auriculata* s'ajoute aux herbacées du stade précédent qui se maintiennent.

Sous huit à neuf cents millimètres de précipitations moyennes annuelles

À Bondoukuy, au Burkina Faso, la reconstitution de la savane se fait en vingt à trente ans environ ; quatre stades principaux peuvent être reconnus. Les adventices dominent la première année (graminées annuelles surtout, telles *Eragrostis tremula*, *Digitaria horizontalis*...). Au cours d'un deuxième stade, d'autres graminées annuelles s'imposent (*Eragrostis turgida*, *Brachiaria ramosa*...) tandis qu'apparaissent des graminées pérennes de transition (*Andropogon gayanus*) ; ces dernières dominent vers dix ans (troisième stade) avant de céder la place aux graminées pérennes de savane (quatrième stade) telles *Andropogon ascinodis*,

Diheteropogon amplexans, *Schizachyrium sanguineum* (Fournier, 1996; Hien, 1996; Devineau & Fournier, 1997; Fournier & Nignan, 1997). Ce n'est qu'en fin de succession que la diversité des ligneux est totalement reconstituée, mais de nombreuses espèces se rencontrent déjà dès cinq ans de jachère (Fournier *et al.*, 2000).

Centre régional d'endémisme guinéo-congolais

Sur défriche de forêt secondaire, sous mille deux cents à mille trois cents millimètres de précipitations par an

En zone de forêt semi-décidue de Côte-d'Ivoire, à Oumé, Gnahoua (1998) observe quatre stades de succession sur défriches de forêt secondaire. Les jachères de un ou deux ans ne comportent que des herbacées : *Sporobolus pyramidalis*, *Panicum* sp., etc. C'est alors que s'installe *Chromolaena odorata*, qui peut devenir envahissante et constituer pendant plusieurs années un véritable obstacle à la régénération forestière. De trois à sept ans dominant *Chromolaena odorata*, *Albizia zygia*, *A. adianthifolia*, *Baphia* spp., *Sterculia tragacantha*, *Solanum verbascifolium*. De huit à quinze ans, on observe un stade pré-ligneux à *Baphia* et *Albizia*. Le stade forestier à *A. adianthifolia* et *A. zygia* ne survient qu'après plus de quinze ans. Des végétations très semblables sont décrites par Devineau (1984) avec *Chromolaena odorata* et *Trema guineensis* vers trois ans, puis un fourré à *Baphia pubescens*, *Sterculia tragacantha* etc., vers dix à quinze ans. Il semble cependant que le stade à *Trema* tende à disparaître, en liaison avec la progression dans la région de *Chromolaena odorata*, qui prend peu à peu sa place (Gautier, 1992).

Sur défriche de savane, sous environ mille cinq cents millimètres de précipitations par an

Sur les plateaux Akposso du Togo, Guelly (1993, 1994) a observé l'évolution de la végétation de jachères de savanes vers une forme de forêt ombrophile guinéo-congolaise secondaire. Jusqu'à trois ans, la flore de la jachère est constituée essentiellement d'astéracées (*Microglossa pyrifolia*, *M. afzelii*, *Conyza bonariensis* et souvent *Chromolaena odorata*), mais les jeunes plants d'arbustes forestiers issus de graines en repos dans les cultures sont déjà présents (Guelly *et al.*, 1993). De quatre à huit ans, le stade à *Harungana madagascariensis* (avec *Trema guineensis* et *Vernonia colorata*) marque le passage de la savane à la forêt (Guelly *et al.*, 2000). De dix à quinze ans l'espèce dominante est une Euphorbiacée, *Margaritaria discoidea*, elle est accompagnée d'espèces des stades précédents. Après vingt ans, on observe une formation forestière à *Macaranga barteri* et *Xylopia aethiopica*. Certaines espèces des stades précédents s'y développent en sous-bois, de même que des lianes. Après vingt-cinq ans, stade ultime de développement de la jachère sur les plateaux Akposso, on retrouve la végétation des forêts avoisinantes, dominée par de grands arbres tels que *Pycnanthus angolensis*, *Canarium schweinfurthii*, *Milicia excelsa* et *Erythrophleum suaveolens*. Le sous-bois est alors souvent planté de caféiers. Dans les cas de pression limitée dans le temps, un retour à la savane au lieu d'une évolution vers la forêt est possible (Guelly, 1993).

Rappelons que la dynamique forêt-savane a fait l'objet de plusieurs travaux en Côte-d'Ivoire (Spichiger & Pamard, 1973; Hiernaux, 1975; Blanc-Pamard, 1979; Spichiger & Lassailly, 1981; Devineau *et al.*, 1984; Gautier, 1989, 1992) et au Bénin (Mondjannagni, 1969; Paradis, 1975; Paradis & Hounnon, 1977; Paradis *et al.* 1978; Profizi, 1982) dont Devineau (1984) a présenté une synthèse. Dans le « V baoulé » de Côte-d'Ivoire, la progression de la forêt sur la savane est souvent favorisée par l'implantation de cultures sur les lisières; cependant, quand la culture est mécanisée, une progression de la savane peut parfois être observée; le rôle décisif des brousses à *Chromolaena odorata* dans ces processus a été

étudié par Gautier (1992). Au Bénin, l'extension de la forêt aux dépens des zones cultivées est moins générale, les cas de savanisation anthropique semblent plus fréquents. Dans une région un peu moins arrosée de Côte-d'Ivoire (1 200 mm par an), Mitja (1992) observe également que la succession conduit souvent à des milieux plus denses en ligneux que la savane qui avait été défrichée.

Défriche de forêt sous mille quatre cents à mille neuf cents millimètres de précipitations par an

Rassemblant les données disponibles sur la forêt dense de Taï en Côte-d'Ivoire (Alexandre *et al.*, 1978 ; Kahn, 1978-a, 1978-b, 1983 ; Jaffré & de Namur, 1983), De Rouw (1991) donne une description synthétique de la reconstitution de la jachère. La végétation touffue qui fait suite à la période de culture acquiert rapidement une apparence forestière ; les arbres de jachère poussent en peuplement équienne. Sept à neuf ans après l'abandon cultural, les populations de *Macaranga hurifolia*, espèce pionnière dominante jusque-là, se détériorent car les individus atteignent alors leur taille maximale. Une seconde période de déclin, qui touche plusieurs espèces (principalement *Musanga cecropioides*, *Anthocleista nobilis*, *Harungana madagascariensis*), se rencontre vers dix-huit à vingt ans. Le trait marquant de la succession à ses débuts est ainsi davantage une disparition d'espèces qu'un enrichissement (Alexandre, 1989). Sous le climat un peu moins humide (1 400 mm) des plaines et basses pentes du Mont Nimba (500 à 800 m environ), Schnell (1998) observe un schéma proche, qui conduit à des forêts secondaires à *Triplochiton scleroxylon*, *Terminalia* spp., *Pycnanthus angolensis*, etc. et parfois *Lophira alata*. (Schnell, 1998).

Conclusion sur les exemples de succession

Le déroulement des successions est ainsi très variable ; les espèces diffèrent en fonction de la situation géographique du site, de son sol, de son état de dégradation ; la durée même du processus de reconstitution n'est pas identique dans tous les cas. Ce sont cette variabilité et ses causes qui vont être explorées dans la suite du texte. Dans chaque région, les successions sont visiblement très marquées par le cadre éco-climatique présenté plus haut, par d'autres facteurs du milieu naturel (notamment édaphiques), mais aussi par des contraintes imposées par l'homme.

La succession, stades et variations géographiques

Les espèces indicatrices des stades de la jachère et leurs variations géographiques

Une classification en trois stades : jeune jachère, jachère intermédiaire et jachère âgée (éventuellement accompagnée de durées indicatives) est adoptée pour présenter les résultats pays par pays. Un paragraphe est également consacré à l'influence de la phase de culture sur la composition floristique de la végétation du champ au moment de son abandon.

La variation des adventices des champs en fonction de la durée de culture

Au Nord du Cameroun, la flore adventice des champs cultivés est très liée au nombre d'années de culture qui ont précédé (Le Bourgeois, 1993). L'artificialisation, liée au travail du sol plus intense et à l'apport d'intrants, augmente évidemment avec la durée de la culture. Les adventices de champs jeunes sont principalement issues du milieu naturel environnant. La présence des pérennes (*Curculigo pilosa*, *Siphonocladus aethiopicus*, *Sporobolus festinus*, *Stylochiton* sp.) est caractéristique des parcelles de moins de deux ans, cultivées à la

main sans fumure et sans herbicide. Ensuite, la plupart des espèces pérennes disparaissent car elles ne supportent pas le travail du sol, qui est cependant favorable à la multiplication végétative de certaines d'entre elles. Les adventices de champ jeune laissent ensuite la place à une flore plus spécialisée, très liée aux itinéraires techniques employés, surtout s'il s'agit de culture attelée et qu'il y a épandage d'engrais minéral. Les annuelles sont toujours extrêmement nombreuses (*Digitaria horizontalis*, *Tridax procumbens*, *Commelina benghalensis*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Ipomoea eriocarpa*, *Pennisetum pedicellatum*). L'une des espèces les plus caractéristiques de ce stade est *Commelina benghalensis*. Quand les parcelles ont connu la culture attelée, voire motorisée, pendant plus de dix ans, ainsi que des épandages d'herbicides et d'engrais à forte dose, c'est encore un autre groupe d'espèces qui apparaît.

Au Burkina Faso, sous huit à neuf cents millimètres de pluie, Djimadoum (1993) observe de même un lien entre la flore d'adventices des cultures et la durée de culture. Les adventices de la première année de culture sont *Scoparia dulcis*, *Corchorus tridens*, *Curculigo pilosa*, *Stylochiton warneckei* et parfois *Pennisetum pedicellatum*. Si la parcelle est proche d'une vieille jachère, *Andropogon pseudapricus* et *Spermacoce stachydea* peuvent apparaître dès la deuxième année. La troisième année viennent *Digitaria horizontalis* et *Dactyloctenium aegyptium*. Les champs cultivés depuis moins de cinq ans se caractérisent par une graminée (*Rottboellia exaltata*), quelques légumineuses (*Crotalaria goreensis*, *Alysicarpus rugosus*, *Indigofera paniculata*) et diverses autres phorbes (*Ampelocissus pentaphylla*, *Ipomoea eriocarpa*, *Acanthospermum hispidum*, *Celosia trigyna*, *Triumfetta rhomboidea*, *Leucas martinicensis*, *Ceratotheca sesamoides*, *Cochlospermum tinctorium*, *Kohautia senegalensis* et *Vicoa leptoclada*). Les champs âgés de plus de cinq ans sont caractérisés par un nombre plus élevé de graminées (*Digitaria gayana*, *Eragrostis ciliaris*, *E. tremula*, *E. aspera*, *Schizachyrium exile*, *Microchloa indica*, *Imperata cylindrica*, *Andropogon pseudapricus*, *Brachiaria lata*, *Chloris pilosa*, *Setaria pallide-fusca*, *Pennisetum pedicellatum*, *Hackelochloa granulata*), une cypéracée (*Fimbristylis exilis*), deux légumineuses (*Alysicarpus zeheri*, *A. ovalifolius*) et d'autres phorbes (*Euphorbia hirta*, *Hyptis spicigera*, *Vernonia pauciflora*, *Buchnera hispida*, *Polycarpaea corymbosa*, *Mitracarpus villosus*, *Corchorus olitorius*, *Biophytum petersianum*, etc.).

D'autres travaux, qui seront détaillés plus loin, mettent l'accent sur la diminution du nombre d'individus et d'espèces de ligneux quand la durée de culture augmente.

Végétaux indicateurs des stades postculturels au Cameroun

Sur l'ensemble des stations étudiées sur un gradient de pluviosité de six cents à mille deux cents millimètres environ, trois groupes d'espèces se dégagent (Donfack *et al.*, 1995 ; Donfack, 1998-a). Les espèces du premier groupe, liées aux cultures, sont surtout des phorbes qui seront rapidement remplacées par les espèces de jachère (*Commelina benghalensis*, *Leucas martinicensis*, *Acalypha ciliata*) ou qui persisteront plusieurs années avant de disparaître (*Corchorus tridens*, *Ipomoea eriocarpa*) ; dans ce groupe, la seule graminée est *Eragrostis aspera*. Un deuxième groupe caractérise les jachères de un à huit ans environ ; certaines espèces apparaissent dès l'abandon cultural, ce sont surtout des graminées (*Melinis repens*, *Eriochloa fatmensis*, *Aristida hordeacea*, *A. adscensionis*), mais aussi quelques phorbes (*Cassia obtusifolia*, *Waltheria indica*). D'autres graminées annuelles (*Pennisetum pedicellatum*, *P. polystachyon*, *Andropogon pseudapricus*) ou pérennes (*Andropogon gayanus*) et des ligneux issus de rejets (*Annona senegalensis*, *Combretum glutinosum*), apparaissent un peu plus tard.

Végétaux indicateurs des stades postculturels au Burkina Faso

Hien (1996) donne une liste d'espèces caractéristiques des différents stades de jachère dans l'Ouest du Burkina Faso. De fait, le facteur culturel qui influence le plus la composition floristique des jachères de moins de six ans est la durée de leur dernière mise en culture (Hien, 1996 ; Fournier *et al.*, 2000). Cependant, plus la reconstitution avance, moins cette influence est perceptible.

Les adventices liées aux très jeunes jachères disparaissent rapidement (*Corchorus tridens*, *C. olitorius*, *Hyptis spicigera*, *Fimbristylis exilis*) ou persistent un certain temps (*Mitracarpus scaber*, *Commelina benghalensis*, *Eragrostis tremula*, *Striga hermonthea*, *E. ciliaris*, *Digitaria horizontalis*, *Leucas martinicensis*, *Chasmopodium caudatum*). D'autres espèces vont atteindre leur fréquence maximale vers trois ans puis disparaître peu à peu (*Cyperus esculentus*, *Eragrostis turgida*, *Brachiaria ramosa*, *Indigofera sessilifolia*, *Schoenefeldia gracilis*, *Indigofera hirsuta*, *I. lepriouri*, *Ampelocissus grantii*, *Sida ovata*) ou rester peu abondantes (*Brachiaria distichophylla*, *Tephrosia pedicellata*, *Evolvulus alsinoides*, *Chloris pilosa*, *Sida alba*). Dans les jachères de moins de six ans, on rencontre déjà plus de cinquante espèces ligneuses dont les plus fréquentes sont *Vitellaria paradoxa*, *Terminalia avicennioides*, *T. laxiflora*, *Piliostigma thonningii* et *Parkia biglobosa*, mais leur abondance est très faible, excepté pour la première (Fournier *et al.*, 2000). Une partie des espèces caractéristiques des vieilles jachères et de la savane apparaissent ou se développent au cours des cinq à huit premières années d'abandon cultural (*Andropogon fastigiatus*, *A. gayanus*, *Schizachyrium platyphyllum*, *Waltheria indica*, *A. pseudapricus*, *Digitaria debilis*, *Brachiaria stigmatistata*, *Paspalum scrobiculatum*, *Ctenium elegans*). Les autres se développent plus tard : il s'agit des herbacées *Andropogon ascinodis*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Ctenium newtonii*, *Diheteropogon amplexans*, *Schizachyrium sanguineum*, *Loudetia simplex*, etc.) et plus de vingt espèces ligneuses dont *Pericopsis laxiflora*, *Lannea microcarpa*, *Anogeissus leiocarpus*, *Grewia mollis*, *Burkea africana*, *Khaya senegalensis*, etc. (Ouedraogo, 1993).

Végétaux indicateurs des stades postculturels au Sénégal

Au Sénégal, Koita (1998) a étudié trois zones climatiques. Au Sénégal oriental, sous huit à neuf cents millimètres de précipitations annuelles, il distingue deux groupes d'espèces indicatrices. Le premier rassemble des espèces caractéristiques des jachères très récentes qui vont disparaître progressivement à partir de la troisième année (*Corchorus tridens*, *Mitracarpus villosus*, *Acanthospermum hispidum*, *Citrullus lanatus*, *Chloris pilosa*, *Striga hermonthea*); de la cinquième année (*Digitaria horizontalis*, *Eragrostis tremula*, *Hibiscus diversifolius*, *H. asper*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria velutina*, *Alysicarpus rugosus*, *Indigofera dendroides*, *Kohautia grandiflora*); de la dixième année (*Waltheria indica*, *Terminalia avicennioides*, *Alysicarpus rugosus*). Le deuxième groupe est constitué par des espèces de vieilles jachères d'environ dix à vingt ans et de savanes (*Cochlospermum planchonii*, *Strychnos spinosa*, *Diheteropogon amplexans*, *Cordyla pinnata*, *Maytenus senegalensis*, *Stylochiton hypogaeus*) ou plus âgées encore (*Triumfetta pentandra*, *Rottboellia exaltata*, *Bombax costatum*).

En Haute-Casamance, sous environ mille cent millimètres de précipitations annuelles, les adventices qui disparaissent dès la troisième année d'abandon cultural sont : *Kohautia grandifolia*, *Corchorus tridens*, *Striga hermonthea*, *Jacquemontia tamnifolia*, *Sesbania pachycarpa*, *Merremia pinnata*, *Acanthospermum hispidum*, *Eragrostis tremula*, *Tephrosia linearis*, *Mitracarpus villosus*. Celles qui persistent jusqu'à la dixième année sont : *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Elionurus elegans*, *Euphorbia hirta*, *Terminalia avicennioides*. Les jachères de plus de dix ans sont caractérisées par : *Pennisetum pedicellatum*, *P. subangustum*, *Panicum gracilicaule*, *Hackelochloa granularis*, *Setaria*

pallide-fusca, *Dioscorea praehensilis*, *Triumfetta pentandra*, *Pterocarpus erinaceus*, *Cassia sieberiana*, *Combretum nigricans* et *C. glutinosum*. Dans les vieilles jachères et savanes, on rencontre : *Lippia chevalieri*, *Vitex madiensis*, *Baissea multiflora*, *Stereospermum kunthianum*, *Prosopis africana*, *Lannea acida*, *Pandiaka heudelotii*, *Brachiaria deflexa*, *Stylochiton hypogaeus*, *S. warneckei*, *Crotalaria comosa*.

En Basse-Casamance, sous environ mille deux cents millimètres de précipitations par an, un premier groupe est composé d'adventices des dernières cultures et d'espèces qui apparaissent puis sont éliminées entre trois et cinq ans d'abandon environ (*Digitaria velutina*, *Chrozophora senegalensis*, *Ipomoea eriocarpa*, *Indigofera macrocalyx*, *Sida stipulosa*, *Eragrostis tremula*, *Cassia obtusifolia*, *Hibiscus asper*, *Tephrosia pedicellata*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Hyptis spicigera*, *Cassia sieberiana*, *Newbouldia laevis*). Un deuxième groupe, composé d'adventices, d'autres herbes et de jeunes ligneux, est lié à la période trois à cinq ans (*Ipomoea pileata*, *Allophyllus africanus*, *Tephrosia platycarpa*, *Andropogon gayanus*, *Terminalia macroptera*, *Guiera senegalensis*, *Icacina senegalensis*). Dans le troisième groupe, qui correspond en gros à la période dix à vingt ans, les ligneux prennent davantage d'importance (*Pandiaka heudelotii*, *Hyptis suaevolens*, *Cassia mimosoides*, *Urena lobata*, *Monechma ciliatum*, *Spermacoce stachydea*, *Setaria pallide-fusca*, *Blepharis maderaspatensis*, *Parkia biglobosa*, *Lannea acida*, *Holarrhena floribunda*, *Acacia macrostachya*, etc.). Les espèces liées aux jachères très anciennes et forêts sont : *Panicum kerstingii*, *Andropogon pseudapricus*, *Justicia kotschy*, *Cissus rufescens*, *Merremia tridentata*, *Uvaria chamae*, *Bridelia micrantha*, *Hannoa undulata*, *Prosopis africana*, *Detarium guineense*.

Végétaux indicateurs des stades postculturels au Mali

Au Mali, sous une pluviosité de sept à huit cent millimètres par an, Yossi (1996) distingue également trois groupes d'espèces. Les adventices de champs cultivés sont surtout des herbacées, les quelques ligneux de ce groupe sont des espèces rejetant de souche qui se sont maintenues pendant la culture ; les espèces herbacées vont soit disparaître très rapidement après l'abandon (*Mitracarpus villosus*, *Leucas martinicensis*, *Eragrostis tremula*, *Cucumis melo*) soit se maintenir dans la jachère jeune (*Cochlospermum tinctorium*, *Sporobolus festinus*, *Physalis angulata*, *Stereospermum kunthianum*). Les espèces de très jeunes jachères, espèces transitoires qui vont rapidement disparaître, sont surtout des herbacées (*Schizachyrium exile*, *Cenchrus biflorus*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Spermacoce chaetocephala*), mais aussi l'espèce ligneuse *Guiera senegalensis*. Le groupe qui succède dans le temps comporte des ligneux (*Dichrostachys cinerea*, *Albizia chevalieri*) et l'herbacée annuelle *Ctenium elegans*. Il marquerait une amélioration de la fertilité chimique du sol. Le dernier groupe comporte des espèces déjà discrètement présentes aux stades de culture et de jeune jachère, mais qui atteignent leur maximum après vingt ans de repos. Il s'agit de quelques espèces herbacées (*Diheteropogon hagerupii*, *Andropogon pseudapricus*, *Setaria pallide-fusca*) et d'une quinzaine d'espèces ligneuses. La graminée pérenne *Andropogon gayanus* n'apparaît également qu'après vingt ans.

Les espèces indicatrices de l'âge de la jachère sont en partie différentes selon les sols. Parmi les adventices des cultures et espèces de très jeunes jachères, *Physalis angulata* et *Sporobolus festinus* sont propres aux sols limoneux, *Corchorus tridens*, *Striga hermonthea*, *Cucumis melo*, *Stereospermum kunthianum* et *Vitellaria paradoxa* aux sols limono-sableux. Pour les espèces de début de jachère (un à quatre ans environ), *Alysicarpus ovalifolius*, *Crotalaria macrocalyx*, *Dichrostachys cinerea*, *Guiera senegalensis* et *Securinega virosa* sont propres aux sols limoneux et *Cenchrus biflorus* et *Leptadenia hastata* sont propres aux sols limono-sableux. Pour les espèces de jachère d'âge moyen, *Pterocarpus erinaceus*, *Feretia apodanthera* et *Combretum nigricans* sont présentes sur sols limono-sableux ; *Diheteropogon hagerupii* et *Setaria pallide-fusca*, sur sols limoneux. Pour les stades âgés, *Termi-*

nalía avicennioides, *Strychnos spinosa*, *Combretum fragrans*, *Andropogon gayanus*, *Setaria pallide-fusca* sont propres aux sols limono-sableux ; *Anogeissus leiocarpus*, *Lannea* spp., *Pterocarpus erinaceus*, *Entada africana*, *Acacia macrostachya*, *Hibiscus asper*, *Ximénia americana*, aux sols limoneux. Notons que *Combretum ghasalense*, déjà abondant au stade de la culture, restera dominant au-delà de vingt ans (Yossi *et al.*, 1998).

Végétaux indicateurs des stades postculturels en Côte-d'Ivoire

Dans la région de Booro-Borotou près de Touba, Mitja (1992) observe que *Trema guineensis*, *Daniellia oliveri*, *Piliostigma thonningii*, *Terminalia macroptera* sont typiques des jeunes jachères jusqu'à environ dix ans, alors que *Crossopteryx febrifuga*, *Hymenocardia acida*, *Afrormosia laxiflora*, *Lophira lanceolata* sont plus abondants dans les jachères anciennes. Le caractère indicateur des ligneux s'exprime davantage par un stade de développement particulier ou par la densité de leur population que par leur simple présence. Ainsi *Uapaca togoensis* à l'état adulte dans les jachères indique-t-il que le site n'a pas été cultivé depuis une vingtaine d'années. En revanche, une forte densité de *Piliostigma thonningii* indique une jachère de moins de trente ans. *Trema guineensis* n'existe pas en savane naturelle ; sa présence en grand nombre dans un champ peut être interprétée comme le témoin d'un cycle cultural antérieur (Mitja, 1992). Il s'agit d'une espèce forestière, dont les graines persistent très longtemps dans le sol et dont le cycle s'effectue en milieu ouvert à l'occasion des chablis (Alexandre, 1978, 1989). Ces caractéristiques lui permettent de s'implanter dans les jachères de savane et de s'y maintenir grâce à une certaine résistance au feu (capacité à rejeter de souche).

La nature des liens entre présence ou dominance des espèces et durée d'abandon cultural

Les travaux réalisés dans les diverses zones climatiques et dans plusieurs pays montrent que les divers stades de la succession possèdent toujours des espèces propres. Le plus souvent, une espèce est considérée comme indicatrice du temps de jachère lorsque sa présence caractérise une étape donnée de la succession. Cette espèce influence ou non la physionomie de la jachère, car elle n'est pas nécessairement dominante (Bodian *et al.*, 1998). Dans certains cas cependant, c'est la *dominance* de l'espèce (déterminant ainsi un faciès physionomique) qui caractérise une étape de la reconstitution postculturelle, la même espèce peut se rencontrer à d'autres stades, mais sans dominance (Mitja, 1992 ; Fournier *et al.*, 2000).

L'étape atteinte est certes très liée à la durée d'abandon, mais plusieurs travaux ont aussi montré la grande influence des facteurs d'utilisation des jachères sur leur rapidité de reconstitution (Dembélé, 1996 ; Donfack, 1998-a). Certains états – et certaines espèces qui leurs sont liées – marquent une durée minimale d'abandon cultural, mais la durée réelle peut être bien plus longue, car des blocages peuvent survenir (Kahn, 1982 ; Telahigue *et al.*, 1987 ; Fournier *et al.*, 2000). Par ailleurs, comme nous allons le voir en détails plus loin, d'autres facteurs, comme le facteur édaphique, peuvent intervenir tout autant que la durée d'abandon pour déterminer la nature des espèces et la rapidité de la reconstitution du milieu.

N'oublions pas que même si le lien entre la composition de la végétation d'un site et la durée d'abandon postcultural paraît net, il n'est qu'indirect ; le véritable déterminant est l'état des facteurs du milieu après cette période de repos. La classique notion de niche écologique permet de formuler ceci de façon plus précise. La présence d'une espèce à un endroit donné montre que les conditions de sa niche écologique y sont réalisées (Hutchinson, 1957). Cela signifie tout d'abord que les facteurs abiotiques du milieu sont dans un état compatible avec la gamme de tolérance physiologique de l'espèce considérée (notion de niche fondamentale), mais aussi que le réseau d'interactions avec les autres espèces (y

compris l'Homme) est tel qu'elle peut se maintenir (pour les jachères, voir notamment Fournier & Nignan, 1997). La question des espèces indicatrices est ainsi celle de la transformation du milieu physique et biologique au cours de la succession et des mécanismes qui la provoquent ou la permettent; ces questions seront abordées plus loin avec les modèles théoriques.

L'influence du gradient éco-climatique dans les jachères

Tout comme pour les zones peu anthropisées, le cadre floristique, fonctionnel et structurel imposé par le climat marque fortement la végétation des milieux culturels ou postculturels et sa dynamique.

Le gradient floristique nord-sud

Dans les savanes du Nord du Cameroun, Le Bourgeois (1993) note des variations sensibles de la flore des adventices des champs cultivés selon la zone phytogéographique. Certaines espèces, comme *Digitaria horizontalis*, *Pennisetum pedicellatum* ou *Mitracarpus villosus*, se rencontrent dans l'ensemble de sa zone d'étude. D'autres se cantonnent au secteur le plus septentrional (sahélien et nord-soudanien) comme *Dactyloctenium aegyptium*, *Spermacoce stachydea*, *Cyperus rotundus*, etc. D'autres encore ont des préférences médio-soudaniennes comme *Tridax procumbens*, *Rottboellia cochinchinensis*, etc. Toujours au Nord du Cameroun, Donfack (1998-b) constate que la flore des jachères diffère en fonction de la zone climatique. Il distingue trois groupes de plantes, qui correspondent en gros aux pluviosités annuelles mille deux cents, huit cents et six cents millimètres, bien que l'influence des sols module aussi la répartition des espèces. Sur vertisols, par exemple, *Acacia polyacantha*, *Hibiscus panduriformis* et *Fimbristylis cioniana* sont caractéristiques de la zone qui reçoit six cent cinquante à sept cent cinquante millimètres de pluie par an, tandis que *Alysicarpus ovalifolius*, *Faidherbia albida*, *Pandiaka involucrata*, *Acalypha segetalis*, *Spermacoce radiata*, etc. le sont de la zone qui reçoit moins de six cent cinquante millimètres. Certaines autres espèces, comme *Zornia glochidiata*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Spermacoce stachydea*, *Spermacoce ruelliae*, ont cependant une large amplitude écologique vis-à-vis de ce facteur.

Dans les jachères de moins de cinq ans du Sénégal, Koita (1998) observe une flore herbacée assez ubiquiste (*Digitaria horizontalis*, *Mitracarpus villosus*, *Acanthospermum hispidum*, *Alysicarpus rugosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Striga hermonthea*, etc.), mais une flore ligneuse propre aux différentes zones climatiques : *Combretum glutinosum* au Sénégal oriental, *Combretum geitonophyllum* et *Terminalia macroptera* en Haute-Casamance et *Guiera senegalensis* en Basse-Casamance.

Au Mali, Roux (1996) observe également que certaines espèces ligneuses différencient les deux sites où elle travaille : *Borassus aethiopum*, *Ziziphus mauritiana*, *Z. mucronata*, *Acacia seyal*, etc., pour Missira (environ 750 mm annuels de pluie) et *Combretum lecardii*, *Terminalia macroptera*, *Burkea africana*, sur Gouani (800 à 1 000 mm annuels de pluie).

La variation floristique le long d'un gradient climatique en forêt humide de Taï en Côte-d'Ivoire est connue depuis longtemps (Schnell, 1952; Mangenot, 1955; Aubréville, 1957; Guillaumet, 1967; De Rouw, 1991).

Le gradient fonctionnel nord-sud

Bien que la rareté des données de production ne permette pas une généralisation très sûre (on ne dispose généralement que de données de phytomasse qui ne représentent qu'une approximation plus ou moins précise de la production, comme l'ont montré notamment les travaux de Fournier, 1991), il semble bien exister une certaine homogénéité par région

climatique. Ainsi, la production herbacée nette des jachères relativement peu dégradées de la région de Bondoukuy, au Burkina Faso, est presque la même que celle des milieux de savane peu anthropisés (Fournier, 1994); en revanche, la composition floristique des deux types de milieux est bien différente. Dans le delta intérieur du Niger au Mali, Hiernaux (1983) observe également que la production des stades postculturels sahéliens est du même ordre que celle du tapis herbacé originel. Dans la mesure où d'autres facteurs limitants – comme un épuisement du sol – n'interfèrent pas, c'est la potentialité éco-climatique de croissance liée à la région qui est exprimée et l'on observe dans les jachères un gradient de production croissante depuis le Sahel jusqu'aux régions périforestières (voir Achard *et al.*, 2000; Alexandre & Kairé, 2000).

Des différences dans les vitesses de reconstitution sont en outre très visibles le long du gradient. De manière générale, la reconstitution postculturelle prend d'autant plus de temps que le climat est plus sec. Le long du gradient climatique nord-sud en Côte-d'Ivoire, on peut admettre que, toutes conditions égales par ailleurs, la vitesse d'évolution est proportionnelle à la longueur de la saison des pluies (César 1993). Une savane boisée sur sol sablo-argileux met entre vingt et vingt-cinq ans pour se reconstituer à Bouaké (8 à 9 mois de saison des pluies), il lui faudra vingt-cinq à trente ans à Korhogo (6 mois de saison des pluies).

Certaines caractéristiques structurales générales de la végétation sont également liées au gradient climatique. Donfack (1998-a) remarque ainsi que dans les jachères du Cameroun, les zones les plus sèches se caractérisent par l'abondance des herbacées annuelles, la rareté des herbes pérennes, l'abondance des épineux dans la strate ligneuse. Cette observation vaut pour tous les pays de la zone considérée. Les aspects structurels, fonctionnels et même floristiques ne sont pas indépendants bien évidemment. Le caractère annuel des herbacés, marqué souvent par une morphologie adaptée, correspond à un mode de fonctionnement particulier et le caractère épineux des ligneux est souvent lié à leur appartenance à certaines familles botaniques et à certains types d'adaptation physiologiques.

Succession des types biologiques et morphologiques dominants

Bien que chaque zone climatique montre certaines particularités, la succession de dominance des espèces présente partout des aspects et mécanismes communs, qui se traduisent par des étapes à physionomies plus ou moins distinctes, reconnues aussi bien en savane (Donfack, 1993; Fournier, 1996; etc.) qu'en forêt plus ou moins humide (Alexandre *et al.*, 1978; Devineau, 1984; Gnahoua, 1998; etc.). La succession des espèces s'accompagne de celle des différents types biologiques (herbes annuelles dont beaucoup de phorbes, herbes pérennes, ligneux bas, ligneux hauts). Elle a été maintes fois décrite dans ses grandes lignes, tant en région tempérée (Keever, 1950; Horn 1974; Grime 1979; etc.) qu'en Afrique tropicale forestière (De Namur, 1978; Guillaumet, 1978; Hall & Okali, 1979; Aweto, 1981; Adedeji, 1984; Alexandre, 1989; Mitja & Hladik, 1989; Mitja, 1992) ou sèche (Zoungrana, 1991; Diatta & Matty, 1993; Guelly, 1993; Ouadba, 1993; Yossi & Dembele, 1993; Zoungrana, 1993; Devineau & Fournier, 1997; etc.). Cette succession des morphologies est généralement liée à une évolution des stratégies dominantes pour l'utilisation du milieu et la régénération.

Une première étape correspond au développement des populations d'herbacées adventices en place dans les cultures. Ces espèces, favorisées par les conditions de milieu laissées par la mise en culture, en particulier par le caractère meuble du sol, sont capables de produire beaucoup de graines et donc d'envahir le milieu momentanément. Dans les régions les plus humides, des graines d'espèces forestières pionnières héliophiles (à très longue durée de conservation et à germination étalée dans le temps) sont également déjà présentes à ce stade (Alexandre, 1989; De Rouw, 1991) et commencent à germer, si bien que l'installation des groupes herbacés sous-arbustifs et arbustifs est concomitante (Alexandre, 1982). Dans les

savanes du Nord du Cameroun, Donfack (1998-a) observe que la phase de culture est principalement occupée par les espèces herbacées annuelles à feuilles larges (phorbes ou latifoliées); les jachères jeunes (un à quatre ou cinq ans), par les graminées annuelles à feuilles plus étroites. Somé (1996) observe que le type biomorphologique uniculmaire (Descoings, 1976; Boudouresque, 1995), qui correspond à un enracinement en un seul point, une faible occupation au sol, un axe unique ou des axes peu nombreux, est très bien représenté dans les débuts de jachère jusqu'à cinq ans environ (*Spermacoce stachydea*, *Tephrosia bracteolata*, *Digitaria lecardii*, *Cassia mimosoides*). Au cours de cette première étape, les croûtes superficielles pédologiques et microbiotiques, constituées à partir de populations de cyanobactéries, d'algues vertes, de lichens et de bactéries, peuvent également jouer un rôle très important de modificateurs du sol, au moins au Sahel (Malam Issa, 1999).

Au cours d'une deuxième étape, on assiste au développement de populations ligneuses. Il s'agit d'espèces intentionnellement conservées par les cultivateurs lors du défrichement, mais aussi d'espèces qui, bien que coupées lors du défrichement, ont subsisté dans les champs car elles sont particulièrement tolérantes aux perturbations liées à la culture (espèces rejetant de souche). Dans les zones plus humides, ce sont aussi les espèces ligneuses héliophiles qui ont germé lors du stade précédent. Dans les savanes, des graminées annuelles plus adaptées aux savanes ont remplacé les espèces messicoles et les premières graminées pérennes s'implantent. Cette étape correspond au remplacement progressif (entre six et vingt ans environ) du type biomorphologique uniculmaire par le type thérophyte cespiteux, qui présente une ramification basale importante, des entre-nœuds courts et une occupation dense au sol (*Andropogon pseudapricus*, *Brachiaria distichophylla*, *Setaria pallide-fusca*, *Hackelochloa granularis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Cyperus* spp., etc.).

Au cours d'une troisième étape, s'implantent des espèces ligneuses ou herbacées issues de graines venues de l'extérieur; qui rencontrent alors des conditions conformes à leur niche écologique. En effet, le milieu s'est modifié à partir de l'abandon du champ, c'est-à-dire à partir de la cessation des perturbations liées à la culture (sarclage, épandage d'engrais, ameublissement du sol). Ces nouvelles espèces proviennent de biocénoses environnantes. Les adventices présentes dans les stades antérieurs subissent une exclusion compétitive et voient les réserves de leurs graines dans le sol s'épuiser.

Au cours d'une quatrième étape, on assiste au développement et à l'arrivée à maturité de ces espèces nouvellement implantées, cela dans les nouvelles conditions de milieu qui correspondent au développement de l'ombrage, probablement aussi à des modifications du sol (voir Somé & De Blic, 1997). À nouveau, les phénomènes de compétition inter- et intra-spécifique vont jouer, entraînant de nouvelles exclusions, l'évolution se poursuivant jusqu'à un état apparemment stable. Les vieilles jachères sont dominées par les herbacées pérennes et les ligneux pyrotolérants. C'est la période (au-delà de dix ou vingt ans) où le type hémicryptophyte cespiteux prend l'avantage avec la dominance des espèces pérennes (*Andropogon gayanus*, *A. ascinodis*, *Fimbristylis* spp., etc.); dans ce type biomorphologique, le tallage renforce encore la structure dense à la base, déjà observée dans le type uniculmaire. La densification progressive du milieu en espèces ligneuses est notée par beaucoup d'auteurs. En savane, la densité des ligneux atteint son maximum vers dix à vingt ans d'abandon. On explique la baisse qui apparaît après vingt ans par l'effet dépressif des ligneux devenus grands sur les plus jeunes ainsi que par la diminution de capacité à rejeter chez les individus âgés (Ouedraogo, 1985; Devineau, 1986; Yossi *et al.*, 1998).

La durée des étapes varie en fonction du climat et de l'intensité de la pression exercée sur le milieu par les activités des populations. En effet, un autre point commun à tous les sites est que les jachères sont soumises à diverses utilisations pendant leur reconstitution postculturale (pâturage, ramassage et coupe de bois, récolte de diverses espèces herbacées, chasse).

Schéma synthétique de la succession en Afrique tropicale

Le schéma synthétique théorique de la figure 1 représente la succession des types végétaux dominants dans l'espace – depuis le Sahel jusqu'à la forêt humide – et dans le temps – depuis l'abandon du champ jusqu'à la reconstitution totale. Le facteur le plus contraignant est différent pour chaque zone éco-climatique : sécheresse climatique pour le Sahel ; feu pour les savanes ; limitation de l'éclairement pour les forêts. En fonction des contraintes principales, la succession ne présente, dans chaque région, qu'une partie des formes végétales possibles. En forêt humide, les stades herbacés sont plus ou moins tronqués et les herbacées pérennes totalement absentes ; la succession met surtout en jeu plusieurs vagues de ligneux. En savane, les stades herbacés sont bien développés, mais les ligneux, qui n'atteindront jamais des recouvrements très forts, sont seulement des pyrotolérants. Au Sahel, où prédominent des herbacées annuelles, la succession est à peine visible car, même en dehors de toute reconstitution postculturelle, les dominantes changent déjà d'une année à l'autre en fonction des conditions climatiques propres du moment (Grouzis, 1988) ; la succession est tronquée, les ligneux sont peu abondants ainsi que les herbes pérennes.

La succession aboutit ainsi dans chaque région à la mise en place comme dominantes des types biologiques et fonctionnels les mieux adaptés au milieu : arbres sciaphiles dans les climats humides ; herbes pérennes dans les savanes brûlées ; herbes annuelles dans les régions les plus sèches. La situation phytogéographique et climatique d'un site constitue un cadre fortement contraignant pour la végétation postculturelle et sa dynamique.

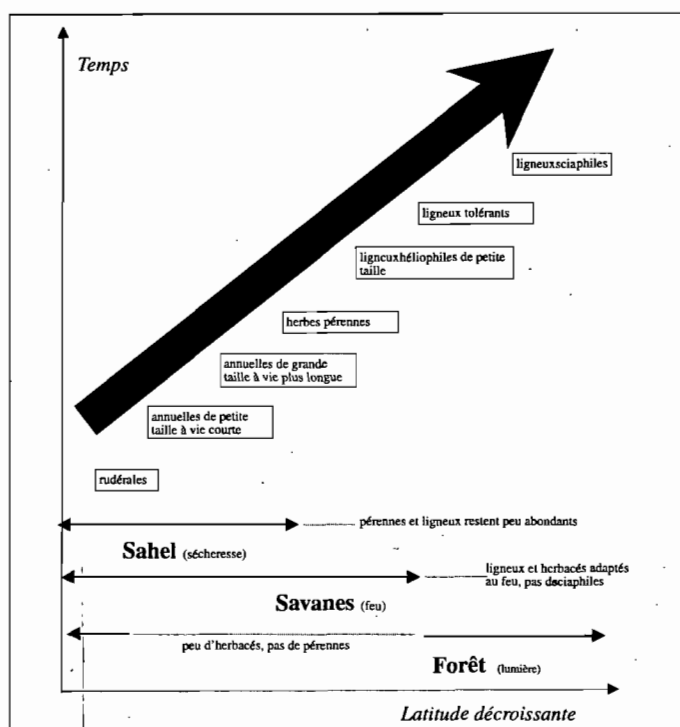


Figure 1. Succession des formes végétales dans le temps au cours de la succession postculturelle sur le gradient éco-climatique ouest-africain. Entre parenthèses : facteur le plus contraignant de la zone éco-climatique.

Principaux déterminants de la variabilité des successions

Les successions postculturales sont sous l'influence conjuguée de divers facteurs ; comme on l'a vu, le gradient climatique est le plus fortement déterminant. En dehors de la durée d'abandon cultural, la composition et la structure de la végétation, à un moment donné dans une jachère donnée, dépend de toute une série d'autres facteurs. Il s'agit des caractéristiques édaphiques du site, des pratiques culturales passées (types de défrichement, d'entretien des parcelles, etc., au cours du dernier cycle cultural mais aussi des précédents), de l'utilisation des jachères depuis l'abandon. Chacun de ces facteurs va être examiné en détail, mais le caractère hautement variable de l'impact de ces divers facteurs dans l'espace et les effets paysagers très importants qui en résultent nous amèneront à considérer séparément les aspects plus particulièrement spatiaux de la variabilité des successions.

Le substrat édaphique

La quasi-totalité des études sur la végétation postculturale montrent qu'après le climat, c'est le substrat édaphique qui influence le plus fortement la variabilité des successions. Il agit sur la composition floristique (nature des taxons et richesse des communautés) et sur la structure de la végétation. Ce lien de la composition floristique avec le sol peut être considéré à deux niveaux : celui des communautés végétales et celui des espèces. Par ailleurs, plusieurs études montrent des variations de la durée ou de la nature de la succession en fonction du sol ; ce que l'on peut considérer comme un effet fonctionnel lié au substrat édaphique.

Lien des communautés végétales avec le substrat édaphique

Influence du substrat édaphique sur la composition floristique des communautés

Au Cameroun, quelle que soit la zone climatique considérée (entre 600 et 1 200 mm de pluies par an environ), on peut distinguer deux grands types de formations végétales : celle dominées par les combrétacées sur sols sableux et celles dominées par les épineux (surtout des légumineuses) sur sols argileux (Donfack, 1998-a). Cette écologie différente des combrétacées et des légumineuses (et, chez ces dernières, des mimosacées et des césalpiniacées notamment) illustre le rôle des facteurs phylogénétiques dans le comportement adaptatif des espèces comme le montre Devineau (1999-b).

Les formations à combrétacées des sols ferrugineux tropicaux à texture sableuse sont dominées par *Terminalia macroptera*, *T. laxiflora*, *Vitellaria paradoxa* et *Andropogon gayanus* dans les sites les plus méridionaux (vers 1 200 mm de précipitations annuelles). Dans les sites intermédiaires (vers 800 mm) ce sont *Combretum* spp., *Anogeissus leiocarpus*, *Loudezia togoensis* et *Sporobolus festivus*. Enfin dans les sites les plus septentrionaux (vers 600 mm), les principales espèces sont *Guiera senegalensis*, *Zornia glochidiata* et *Cenchrus biflorus*. *A. leiocarpus*, qui existe dans les trois régions, présente un gradient de densité de peuplements décroissant du sud au nord.

Sur sol argileux (vertisols), les formations sont des savanes sèches à épineux. Leurs principales espèces sont *Acacia polyacantha*, *Rottboellia cochinchinensis* et *Andropogon gayanus* sous 1 200 mm, *Acacia* spp., *Capparis* spp., *Andropogon pinguipes* et *Merremia emarginata* sous huit cents millimètres de pluie, *Acacia* spp., *Combretum aculeatum*, *Andropogon fastigiatus* et *Schoenefeldia gracilis* sous six cents millimètres de pluie.

Conformément au gradient fonctionnel déjà présenté, la strate herbacée associée est à base de graminées pérennes au sud, mais d'annuelles au nord, dans les deux types de formation.

Au Nord du Bénin, la texture, la composition chimique et la nature du sol se révèlent des facteurs très explicatifs de la répartition des phytocénoses (jachères et milieux non cultivés), notamment des hiérarchies phytosociologiques supérieures, alliances et formations végéta-

les (Sinsin, 1996). Le pouvoir discriminant des facteurs pédologiques est moindre pour les associations, dont la discrimination nécessite l'ajout d'autres facteurs, notamment ceux relatifs à l'action anthropique.

Plusieurs études de type phytosociologique ont été réalisées dans la région de Bondoukuy, au Burkina Faso, sous huit cents millimètres annuels de pluie. L'organisation d'ensemble de la végétation est liée aux deux grands types de sols, gravillonnaires ou non (Devineau & Fournier, 1997). Si l'on considère séparément les divers stades de la reconstitution postculturelle, l'importance du substrat édaphique apparaît encore. Parmi les divers facteurs pris en considération, c'est presque toujours l'un de ceux qui sont liés au sol qui se révèle le plus fortement déterminant, bien avant l'âge de la jachère ou les facteurs culturels. Ainsi, dans les groupements floristiques des champs cultivés étudiés par Djimadom (1993) et dans ceux des vieilles jachères étudiés par Ouédraogo (1993), c'est la texture du sol ; dans les groupements des jachères de moins de six ans, étudiés par Hien (1996), c'est sa profondeur ; dans les groupements des jachères de dix à vingt ans dominées par *Andropogon gayanus*, étudiés par Yoni (1997), c'est l'appartenance à un grand type de sols (Fournier *et al.*, 2000).

Dans la région de Toubia en Côte-d'Ivoire, sous environ 1 200 mm de pluie par an, deux critères sont déterminants dans l'organisation générale de la végétation : l'excès d'eau et la capacité du sol à fournir ou non de l'eau toute l'année (Planchon & Mitja, 1990) ; cette caractéristique est liée à la fois à l'épaisseur du sol et à sa nature ; il est clair en particulier que le taux d'argile est très actif (Mitja, 1992).

Dans les milieux de jachère d'âge moyen à *Andropogon gayanus* de Bondoukuy, au Burkina Faso, on observe que la richesse floristique est d'autant plus élevée que les sols sont plus argileux et que la densité des touffes de pérennes, la densité et le recouvrement de la strate ligneuse, augmentent également le long de ce gradient textural (Fournier *et al.*, 2000). À l'opposé, dans les jeunes jachères de moins de six ans, ce sont les sols les plus sableux qui portent la végétation herbacée la plus riche.

À Mouda-Gazad, au Nord du Cameroun (800 mm de pluie par an), la succession postculturelle de la végétation ligneuse a été comparée pour un sol ferrugineux, un vertisol modal et un vertisol dégradé (Donfack 1998). Tous stades de jachère confondus, le sol ferrugineux apparaît comme plus riche (44 espèces) que les autres (24 et 26 espèces). La proportion d'épineux est plus élevée sur vertisol (45 p. cent) que sur sol ferrugineux modal (25 p. cent) ; le vertisol dégradé étant intermédiaire (39 p. cent). Il existe aussi une différence dans l'évolution de la richesse floristique : sur vertisol, la richesse cesse de s'accroître à partir de douze ans tandis qu'elle continue au-delà de vingt-cinq ans sur sol ferrugineux (Donfack *et al.*, 1995).

Influence du substrat édaphique sur la dynamique de la végétation

Au Mali, la succession n'est pas la même selon le substrat édaphique (Yossi, 1996). Comme au Cameroun, certaines espèces caractérisent chacun des deux types de sol étudiés, mais la vitesse de la reconstitution diffère également. Le développement des populations de *Diheteropogon hagerupii* est plus précoce sur les substrats limoneux (dès cinq à dix ans d'abandon) que sur les substrats limono-sableux (après 20 ans). Le retour à une végétation ligneuse fournie est bien plus rapide sur sol limono-sableux (dès 5 à 10 ans) que sur sol limoneux (après 20 ans).

En Côte-d'Ivoire, dans la région de Boundiali Korhogo, sous environ mille deux cents à mille cinq cents millimètres de pluie annuelle, César (1992) note que la durée de la reconstitution est liée à la fertilité chimique du sol. Sur un sol sablo-argileux, la reconstitution de la savane prend une trentaine d'années ; sur les sables gravillonnaires lessivés, la reconstitution est plus lente encore ; sur les sols agilo-sableux, la reconstitution est achevée dès la vingtième année. Les travaux de Hiernaux (1975) en savane humide de Côte-d'Ivoire avaient déjà montré que la succession conduisant à la forêt après culture des savanes était bien plus

rapide sur schistes que sur granites. Mitja (1992) montre que des facteurs édaphiques, tels que le taux d'argile lié à la position topographique, influencent fortement la dynamique de la végétation dans les jachères. À partir d'une savane arborée, la succession conduit à une formation de même physionomie en bas de versant, mais à une formation plus dense à mi-versant et en haut de versant (Mitja & Puig, 1991). La variation des caractéristiques édaphiques le long du versant s'accompagne en effet de différences dans la dynamique des micro-organisations pédologiques de surface et dans l'activité de la faune et des végétaux ; on connaît l'importance des interactions entre ces éléments dans la dynamique de la végétation (Mitja & Valentin, 1990 ; Mitja, 1992). À cause de ces interactions, les facteurs qui induisent une variabilité des jachères n'interviennent pas non plus nécessairement de façon uniforme dans le temps, pendant la reconstitution du milieu. Près de Touba, en Côte-d'Ivoire, la densité des ligneux est plus forte sur les sols ferrugineux que sur les sols ferrallitiques en début de jachère, mais c'est l'inverse chez les jachères de plus de trente ans (Mitja, 1992).

Caractère indicateur des espèces vis-à-vis des caractéristiques édaphiques

De manière générale, il est connu que les espèces végétales se répartissent individuellement en fonction des caractéristiques édaphiques des sites. Cette importance du substrat pédologique comme déterminant de la végétation apparaît d'une manière ou d'une autre dans la plupart des travaux consacrés à la jachère en Afrique tropicale. Certaines espèces peuvent se comporter individuellement comme des indicateurs plus ou moins précis des caractéristiques édaphiques. Chacune des étapes de la reconstitution postculturelle possède généralement des espèces indicatrices des sols. Parmi les espèces non liées à des étapes données de la reconstitution, certaines sont également sensibles au sol.

Parmi les adventices rencontrées dans les champs dans la région de Bondoukuy, dans l'Ouest du Burkina Faso, *Corchorus tridens*, *Leucas martinicensis*, *Mitracarpus scaber*, *Spermacoce stachydea*, *Fimbristylis hispidula* ⁽¹⁾, *Eragrostis tremula*, *Striga hermonthea*, *Chasmopodium caudatum*, préfèrent les sables ; *Corchorus olitorius*, *Fimbristylis exilis*, *Eragrostis ciliaris*, *Hyptis suaevolens*, *Bulbostylis hispidula*, *Commelina benghalensis*, *Eragrostis turgida*, *Eragrostis ciliaris*, les sols plus lourds et plus humides, généralement limono-argileux (Hien, 1996). Dans les jeunes jachères de moins de six ans également, la présence des espèces est liée à la nature du sol : *Cyperus esculentus*, *Eragrostis turgida*, *Indigofera lepriuri*, *Sida ovata*, *Tephrosia pedicellata*, *Chloris pilosa*, aiment les bas-fonds et sols humides ou les terrasses alluviales ; *Brachiaria ramosa*, *Schoenefeldia gracilis*, les sols limoneux ; *Indigofera hirsuta*, *Sida alba*, *Evolvulus alsinoides*, les sols sableux ; *Ampelocissus grantii*, les sols gravillonnaires (Hien, 1996). Pour les jachères de dix à vingt ans environ, Fournier *et al.* (2000) donnent une liste de plus de cinquante espèces ligneuses ou herbacées, indicatrices par leur présence de l'un des trois grands types de sols de la zone d'étude, notamment : *Anogeissus leiocarpus* et *Gladiolus klattianus* pour les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes ; *Psorospermum febrifugum* et *Sporobolus festivus*, pour les sols ferrugineux tropicaux ; *Bridelia ferruginea* et *Microchloa indica*, pour les sols ferrugineux tropicaux non hydromorphes. Dans les vieilles jachères, la texture est indiquée par la présence de certaines espèces : sableuse pour *Waltheria indica* et *Ctenium elegans* ; sableuse ou limono-sableuse pour *Schizachyrium sanguineum* – dominante de ce stade ; argileuse pour *Paspalum scrobiculatum* ; argilo-sableuse à argileuse pour *Andropogon ascinodis* – dominante de ce stade – (Ouedraogo, 1993). Chez les espèces indifférentes à l'âge de la jachère, *Borreria stachydea*, *Tephrosia bracteolata*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Hibiscus as-*

(1) D'après Lebrun (= *F. exilis*, actuellement *Bulbostylis hispidula* ou plutôt *Abildgardia hispidula* ; Lebrun & Stork, 1995).

per, préfèrent les substrats sableux ; *Hackelochloa granularis*, *Indigofera dendroides*, *Kaempferia aethiopica*, les substrats humides.

Yossi (1996) reconnaît deux groupes écologiques dans l'ensemble des jachères qu'il a étudiées au Mali : celui des espèces liées aux textures sableuses (*Andropogon gayanus*, *Zornia glochidiata*, *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*, *Stereospermum kunthianum*, *Vitellaria paradoxa*, *Sclerocarya birrea*, *Cordyla pinnata*) ; celui des espèces liées aux textures limoneuses (*Anogeissus leiocarpus*, *Acacia seyal*, *Albizia chevalieri*, *Entada africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Ziziphus mauritiana*).

En Côte-d'Ivoire, dans la région de Toubia (1992) cite trois espèces typiques des hauts de versant à forte teneur en argile : *Terminalia glaucescens*, *Pterocarpus erinaceus* et *Albizia zygia*.

Ce sont les liens des espèces végétales avec la texture et les caractéristiques hydriques des sols qui sont le mieux documentés dans les jachères, mais quelques données montrent également des corrélations avec les caractéristiques chimiques, par exemple la capacité d'échange de l'horizon supérieur (Devineau, 2000).

Caractère indicateur pour les caractéristiques édaphiques et échelle spatiale

Le caractère indicateur des espèces végétales vis-à-vis des caractéristiques édaphiques se manifeste à des échelles spatiales variées. Les exemples précédents sont relatifs à l'échelle du grand type de sol – qui est aussi celui de l'unité de paysage – et à l'échelle de la position topographique (à laquelle sont liées des variations de texture et d'humidité) – qui est celle du versant. Mais ce caractère indicateur est également perceptible à une échelle plus fine, celui des variations entre microsites. Ainsi, dans une vieille jachère du Burkina Faso, une association a été montrée à échelle de quelques mètres entre les classes d'infiltrabilité du sol, d'une part, l'abondance des espèces herbacées, d'autre part (Fournier & Planchon, 1998).

Le substrat édaphique et son fonctionnement sont bien, à toutes les échelles, des déterminants très puissants de la végétation et de sa dynamique.

Les pratiques culturales

Types de défrichements et leurs effets

Les défrichements peuvent être pratiqués avec ou sans dessouchage des ligneux. Le recours à l'une ou à l'autre de ces pratiques dépend de l'équipement de l'exploitant (culture manuelle, traction animale ou motorisée), du sol du site et du type de plante cultivée. Si le défrichement est mécanisé, toutes les racines des ligneux sont extraites et la partie superficielle du sol, qui contient les réserves de semences, est érodée ; l'activité faunique est alors très perturbée. La reconstitution de la végétation, longue et difficile, est entièrement assurée par des espèces venues de l'extérieur. Si le défrichement est manuel, le potentiel de reconstitution du milieu est moins affecté ; de nombreuses espèces se maintiennent pendant la culture sous forme de souches ou de graines, si bien que la reconstitution est nettement plus rapide.

Dans la région de Missira, au Mali, le défrichement sans dessouchage consiste à couper les troncs à moins de cinquante centimètres de hauteur, à rassembler le bois autour de vieux arbres puis à brûler (Yossi, 1996). Le dessouchage est généralement destiné à faciliter la culture attelée, les souches sont déterrées, soit au cours de la première année de culture, soit graduellement en plusieurs années. Selon les pays et les régions, ce dessouchage peut être plus ou moins complet et des arbres utiles sont souvent conservés sur les parcelles (Donfack, 1998-a). Des pratiques analogues se rencontrent dans le reste de l'Afrique tropicale. Elles vont conduire à la mise en place de types différents de jachères, ligneuses dans le premier cas, herbacées dans le second (Donfack, 1998-a ; Yossi, 1996).

Des variations floristiques de la végétation ligneuse dans les jachères en fonction du type de défrichement des parcelles dont elles sont issues ont été mises en évidence (Yossi, 1996). À Missira, c'est toujours *Guiera senegalensis* qui domine dans les très jeunes jachères sur sol limoneux-sableux issues de champs non dessouchés, avec comme seconde espèce *Combretum glutinosum* (Yossi *et al.*, 1998). Dans les parcelles issues de champs dessouchés, *C. glutinosum* domine dès le début. Cet effet est croisé avec celui de la texture des sols. Ainsi, sur sol plus limoneux, la dominance est assurée par *C. glutinosum* et *C. fragrans*.

La reconstitution de la végétation est d'autant plus plus lente après dessouchage que la phase de culture aura été longue. Dans le terroir de Missira, le dessouchage pratiqué sur certaines parcelles est très défavorable aux ligneux, dont la densité et le taux de régénération dans les jachères sont alors significativement plus faibles (Yossi *et al.*, 1998). L'effet négatif du dessouchage est particulièrement net sur les sols à texture fine à moyenne des zones soudaniennes, qui sont plus fragiles à la dégradation physique liée à une longue culture et au piétinement des troupeaux (Yossi, 1996).

Sous le climat encore plus humide de Booro-Borotou, en Côte-d'Ivoire, l'évolution de la végétation est également très fortement influencée par le type de défrichement (Mitja & Puig, 1991 ; Mitja, 1992).

Nature des espèces cultivées, durée et fréquence de la phase de culture

La nature des espèces cultivées et le type de rotation influencent la composition floristique des jeunes jachères, mais comme facteur secondaire. Cet effet s'estompe d'ailleurs au cours de la reconstitution. Ainsi dans la région de Bondoukuy, au Burkina Faso, le principal déterminisme de la variabilité floristique observée dans les jachères de moins de six ans est édaphique, mais la nature des espèces cultivées (types de rotation) ainsi que l'entretien plus ou moins soigneux du champ interviennent ensuite (Fournier *et al.*, 2000). En revanche, dans les jachères plus âgées, dominées par *Andropogon gayanus*, aucun lien n'a pu être mis en évidence entre les types de rotation culturale et la dernière espèce cultivée, d'une part, les groupements et faciès floristiques, d'autre part (Fournier *et al.*, 1999). En Côte-d'Ivoire, dans la région plus humide de Booro Borotou, la dernière espèce cultivée ne semble pas un facteur très déterminant de la composition floristique des jachères (Mitja, 1992).

La longueur de la phase de culture influence fortement la végétation des différents stades postculturels. Comme on l'a vu, la flore d'adventices des champs évolue avec le temps, ce qui a des répercussions sur la composition en espèces des très jeunes jachères directement issues des champs. Dans les jachères de moins de six ans de la région de Bondoukuy, au Burkina Faso, la durée de culture du dernier cycle est ainsi un facteur très explicatif de la variabilité de la végétation, alors dominée par des annuelles (Fournier *et al.*, 2000). Dans des jachères plus âgées, où la pérenne *Andropogon gayanus* est dominante, la durée de la dernière culture apparaît encore comme explicative de la composition et de la structure de la végétation, mais moins fortement (Yoni, 1997). Les résultats donnés par Mitja (1992) pour les savanes plus humides de Côte-d'Ivoire sont concordants ; la durée de culture influence fortement la composition floristique des jachères de moins de trente ans, mais pas celles des jachères plus âgées.

La durée de mise en culture a des répercussions particulièrement fortes sur la dynamique de la strate ligneuse. De manière générale, si la phase de culture est brève, les ligneux maintenus sous forme de souche dans le champ vont participer activement à la reprise de la végétation après l'abandon cultural. Les espèces les plus aptes à coloniser les jachères grâce à cette faculté de résister dans la culture sont celles qui rejettent de souche, par exemple au Nord du Cameroun : *Piliostigma* spp., *Annona senegalensis*, *Calotropis procera*, *Combretum aculeatum*, *Acacia* spp., *Ziziphus mauritiana*. Une phase de culture longue peut cependant fragiliser ces souches, même chez les espèces les plus résistantes, et ralentir la

recolonisation ligneuse des jachères (Donfack, 1998-a). Dans le contexte actuel de raccourcissement quasi général du temps de jachère, la fréquence des cycles culture-jachère augmente. Les répercussions sur la végétation sont importantes : la vitesse de retour des ligneux et la diversification de leurs espèces sont très affectés. Au Nord du Cameroun, Donfack (1998-b) conclut que si les phases de repos sont très courtes et répétées, les quelques arbustes qui rejettent beaucoup de souche (comme *Dichrostachys cinerea*, *Combretum aculeatum*, *Piliostigma reticulatum*) seront favorisés et envahiront les jachères tandis que les autres espèces vont se raréfier. De même, en Côte-d'Ivoire, la composition en ligneux des jachères est très liée à leur passé cultural ; dans ce contexte, Mitja (1992) montre que certaines espèces, comme *Terminalia macroptera*, ne se rencontrent que dans les jachères issues de cultures relativement courtes.

Type de champ, fumure et sarclage

Dans certains travaux, la distinction a été introduite entre « champs de case » et « champs de brousse ». Elle apparaît comme très explicative de la variabilité de la végétation dans les jachères de moins de six ans de la région de Bondoukuy, au Burkina Faso (Hien, 1996) ainsi que dans les milieux postculturels du Mali (Yossi, 1996). Les champs de case, très proches des villages, sont cultivés plus longtemps (généralement plus de dix ans) que les champs de brousse ; les jachères qui en sont issues sont soumises à des pressions anthropiques bien plus fortes (nombreuses déjections qui modifient le milieu, piétinement, pâturage intense, etc.). Une flore bien différenciée s'associe à chaque type de milieu, par exemple les ligneux *Dichrostachys cinerea*, *Ziziphus mauritiana* et *Combretum fragrans* sont caractéristiques des champs de case dans le terroir de Missira, au Mali.

Cet effet est cependant très distinct de celui d'un simple apport organique, ou d'un entretien plus ou moins soigneux du champ ; ainsi l'application ou l'absence de fumure intentionnelle pendant la dernière culture, tout comme le nombre de sarclages pendant cette dernière année ou les années précédentes, apparaissent comme peu explicatifs de la variabilité de la végétation dans les jeunes jachères de l'Ouest burkinabè (Hien, 1996 ; Fournier *et al.*, 2000). La catégorie « champ de case » correspond en fait à tout un contexte d'éléments divers de perturbation qui se cumulent et qui sont liés à une position particulière de voisinage des habitations.

C'est seulement pour les adventices dans les champs que l'effet de l'entretien et de la fumure sur la végétation est vraiment perceptible. Au Nord du Cameroun, la flore adventice des champs cultivés est ainsi très liée à l'âge du champ, comme on l'a déjà vu, et à l'itinéraire technique suivi (Le Bourgeois, 1993). Plusieurs groupes d'espèces peuvent être reconnus selon que le travail du champ est manuel, attelé ou motorisé et que ce travail se fait avec ou sans fumure minérale et herbicide. L'artificialisation du milieu par travail du sol plus intense et apport d'intrants augmente évidemment avec l'âge du champ.

Les influences anthropiques sur la végétation des jachères

Les perturbations imposées par l'homme après l'abandon cultural sont diverses (feu intentionnel, pâturage, ramassage ou coupe de bois, prélèvement de plantes à usage alimentaire ou médicinal...). Elles peuvent être plus ou moins régulières dans le temps, mais sont généralement très hétérogènes dans l'espace.

Le feu

À Bondoukuy, au Burkina Faso, les groupements floristiques des jachères de moins de six ans apparaissent liés à la fréquence du passage du feu déterminée par enquêtes (Hien, 1996). Les formations régulièrement brûlées, dont les espèces caractéristiques sont *Indigofera*

trichopoda et *Bulbostylis filamentosa*, sont généralement dominées par *Spermacoce stachydea*, tandis que celles rarement brûlées (groupements à *Nelsonia canescens* et à *Ludwigia hyssopifolia*) sont dominées par *Setaria pallide-fusca* et *Pennisetum pedicellatum*. Il est vrai qu'il y a là une influence croisée de la nature du sol et de la fréquence du passage du feu : les zones les plus humides aux sols les plus lourds sont aussi, dans cette localité, les moins fréquemment brûlées. Dans cette région, le feu intervient après les facteurs pédologiques et culturels, mais avant le pâturage, comme facteur explicatif de la composition floristique des jachères (Hien, 1996). Au Sénégal, Koita (1998) met également en évidence des groupes d'espèces liées à la fréquence du feu. Il distingue les espèces liées à l'absence de feu, qui sont celles des jeunes jachères (*Urena lobata*, *Sesbania pachycarpa*, *Indigofera secundiflora*, etc.), les espèces liées à un passage du feu moins d'une fois par an (*Stylochiton hypogaeus*, *S. warneckei*, *Commelina benghalensis*, *Tephrosia elegans*, *Terminalia macroptera*, *Piliostigma thonningii*) et les espèces liées à un passage annuel (*Indigofera stenophylla*, *Stylosanthes mucronata*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Ipomoea coptica*, *Setaria pallide-fusca*, *Elionurus elegans*, *Daniellia oliveri*, *Combretum glutinosum*, etc.). Ces liaisons résultent évidemment ici également d'effets croisés (et non pas des caractéristiques biologiques de résistance des espèces), car certaines espèces sont très fréquentes dans des milieux où les feux sont réguliers et violents. C'est notamment le cas de *Piliostigma thonningii*, qui est l'une des quatre espèces ligneuses dominantes dans les savanes de Lamto, en Côte-d'Ivoire, où prennent place des feux réguliers et violents ; sa bonne résistance au feu a été étudiée par Gignoux (1994).

Dans une expérimentation réalisée au Mali, dans le terroir de Missira (Dembele, 1996), différents traitements (absence de feu, feu précoce, feu tardif) ont été appliqués sur deux types de sols (limoneux fins et limono-sableux) à partir de l'abandon du champ. Après un an de jachère, ce sont des espèces adventices des cultures qui dominent (*Digitaria horizontalis*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Spermacoce stachydea*), elles cèdent ensuite la place à *Pennisetum pedicellatum* dans les sites soustraits au feu et à *Andropogon pseudapricus* dans les autres sites. À partir de la deuxième année, on assiste à une installation quasi grégaire de *Pennisetum pedicellatum* dans les sites soustraits au feu et de *Andropogon pseudapricus* dans ceux soumis au feu tardif. Ces effets, très nets sur sol limoneux, le sont moins sur sol limono-sableux (Dembele *et al.*, 1998). Pour mieux cerner les mécanismes en jeu, les performances germinatives de semences soumises à des températures élevées ont été étudiées (Dembele, 1996). Les pyrophytes présentent des taux de germination plus élevés que les autres espèces, mais leur vitesse de germination est généralement moindre et leur délai de germination plus long. Ces caractéristiques expliquent bien les dominances d'espèces observées dans les jeunes jachères expérimentales. Au Cameroun, une autre expérimentation a été réalisée sur deux types de sols (sol ferrugineux tropical, vertisol) avec deux traitements de feu (absence de feu, feu tardif) et une protection contre le pâturage (Donfack *et al.*, 2000). En début de succession, *Pennisetum pedicellatum* est favorisée par l'absence de feu, mais après six ans, cette espèce est remplacée par *Andropogon pinguipes* et *Vigna radiata*. Dans les sites soumis au feu tardif, c'est une formation dominée par *Andropogon pseudapricus* qui s'est mise en place. Sur sols ferrugineux tropicaux, les ligneux se développent mieux en l'absence de feu, mais cet effet n'est pas perceptible sur vertisol.

Les écosystèmes de savane se sont constitués et ont évolué en interaction avec le feu, qui est devenu la condition de leur maintien. Les expérimentations menées en savane naturelle du Burkina Faso par Sawadogo (1996) montrent d'ailleurs un effet positif du feu précoce sur la mise en place des plantules des herbacées caractéristiques de ces milieux. Au cours de la succession postculturale, c'est le passage du feu dans les jachères qui permet la reconstitution de la flore savanicole en sélectionnant les espèces pyrotolérantes ; son absence sur de longues durées pourrait conduire à la mise en place de milieux très différents des savanes d'origine. Le feu agit sur la composition floristique et la structure des populations en modi-

fiant la valeur sélective des espèces en faveur des pyrotolérantes et au détriment des pyrosensibles, ce qui conduit à l'élimination de certaines espèces et au développement d'autres. De manière générale, le feu limite cependant le développement des ligneux, même pyrotolérants, car à l'échelle individuelle, les plantes subissent des dommages parfois importants. Par ailleurs, c'est en diminuant la valeur sélective relative des ligneux par rapport aux herbacées que le feu favorise le maintien d'espaces relativement ouverts qui correspondent à une structure de savane. Ces effets, qui ont été étudiés en savane (Vuattoux, 1970, 1976; Menaut, 1977; Devineau *et al.*, 1984; San José & Farinas, 1991; Swaine *et al.*, 1992; Gignoux, 1994), s'exercent aussi dans les jachères.

Le pâturage

Tout comme le feu, le pâturage a toujours existé dans les savanes, si bien qu'on doit le considérer comme une composante normale des écosystèmes de ces régions. Cependant, il a récemment augmenté en fréquence et en intensité avec l'accroissement des effectifs des troupeaux domestiques, ce qui change son mode d'action (Achard *et al.*, 2000). Bien qu'important, l'impact des troupeaux domestiques sur la végétation est très difficile à quantifier en conditions réelles; en général, on ne peut en obtenir que des évaluations relativement grossières. Les expérimentations ne fournissent que des informations de portée limitée car elles ne concernent que de petites surfaces et ne permettent pas une simulation satisfaisante des phénomènes, le contrôle des animaux restant la difficulté principale. En milieu réel, le principal problème tient au caractère très hétérogène dans l'espace et dans le temps de la pression exercée. En effet, ses déterminants ne sont qu'en partie biologiques, le droit et les usages locaux interviennent tout autant (accessibilité des sites, types de conduite des troupeaux, etc.). En savane soudanienne, diverses formations végétales sont successivement utilisées comme pâturages au cours de l'année (Kiéma, 1992; Diallo, 1997; Onana, 1995). À Bondoukuy, au Burkina Faso, par exemple, la pression est particulièrement forte de juin à août dans les jachères les plus jeunes; de septembre à novembre, dans les plus âgées; mais localement les contraintes sociales peuvent largement modifier ce schéma. Les effets observables du pâturage sont ainsi presque toujours des effets croisés ou indirects.

Dans les jachères de moins de six ans de Bondoukuy, au Burkina Faso, un lien a été mis en évidence entre la pression de pâturage évaluée en classes d'intensité et la composition floristique de la végétation (Hien, 1996). Certains groupements floristiques, dominés par des espèces peu appréciées, comme *Sida ovata*, *Triumfetta rhomboidea*, *Tephrosia pedicellata* et *Zornia glochidiata*, caractérisent les sites très pâturés, proches des cases. Le facteur pâturage ne vient cependant qu'après divers autres, notamment le sol et la durée de la culture, pour expliquer les variations observées. Au Cameroun, la liaison statistique positive de certaines espèces avec diverses intensités de pâturage a été montrée dans une expérimentation, où des jachères ont été suivies pendant six ans après l'abandon cultural (Donfack, 1998). Dans le traitement de pâturage le plus intense, seules des liaisons négatives avec les espèces sont cependant décelables. Au Sénégal, la liaison statistique de certaines espèces avec différents niveaux de pression de pâturage a également été observée, en milieu réel cette fois (Koita, 1998). Les espèces liées au pâturage le plus intense sont aussi celles des premiers stades de l'abandon cultural, ce que l'auteur interprète comme un effet croisé: la période de pénurie et donc de forte pression étant aussi celle où les jeunes jachères sont utilisées. En revanche, une autre expérimentation menée au Mali (Dembélé *et al.*, 1998) n'a pas permis de montrer un effet du pâturage au cours des trois premières années de la succession postculturale.

La végétation des zones fortement fréquentées par les troupeaux a été étudiée au Burkina Faso (Diallo, 1995, 1997) et au Cameroun (Onana, 1995). Les déterminants principaux de ces groupements relèvent plutôt des sols ainsi que du type et de l'intensité de la fréquentation

par les animaux, que le site ait été cultivé ou non auparavant. L'hypothèse d'un effet croisé de la mise en culture et du pâturage dans la mise en place de certains faciès de surpâturage peut néanmoins être proposée, car certaines des espèces dominantes font partie du cortège floristique postcultural. Il semble que la fréquentation des troupeaux favorise leur développement, soit parce qu'elles sont refusées (*Cymbopogon schoenanthus*) soit, à l'opposé, parce qu'elles sont très consommées (au moins à certaines périodes de l'année) et largement disséminées par les bovins (*Spermacoce stachydea*, *Piliostigma thonningii*, *Gardenia erubescens*, *Sida acuta*, *Guiera senegalensis*). Devineau (1999-a) estime qu'à Bondoukuy, au Burkina Faso, le bétail joue un rôle important dans le déroulement des successions postculturales, en contribuant à la banalisation de la flore, notamment herbacée. En effet, les herbacées les plus disséminées par les troupeaux dans cette région sont pour l'essentiel des adventices des cultures ou des rudérales (*Spermacoce stachydea* en tête) et des ligneux de savane présents dans les jachères (*Gardenia erubescens* en tête). En cas de forte pression animale, en revanche, certaines espèces très consommées sont éliminées et ne peuvent donc prendre place normalement dans la succession (*Andropogon gayanus*, divers ligneux fourragers).

Dans le terroir de Gazad, au Cameroun, la densité de ligneux décroît avec l'augmentation du niveau de pression pastorale (Donfack, 1998). Floret *et al.* (1995) concluent qu'en zone soudanienne d'Afrique de l'Ouest, le surpâturage ne conduit pas à l'augmentation du couvert ligneux aux dépens de la strate herbacée. Ce n'est pourtant pas l'idée la plus généralement admise (Toutain, 1979; César, 1992). En savane de Côte-d'Ivoire, César (1992) montre au contraire comment les milieux pâturés voient leur peuplement ligneux se densifier. L'histogramme de distribution des hauteurs, typiquement bimodal en savanes brûlées, laisse place à un histogramme unimodal qui traduit l'envahissement brutal du milieu par une seule espèce ligneuse. Toutain (1979) souligne le risque d'emboisement lié à l'exploitation pastorale dans les végétations du type de celles du ranch de Samorogouan vers onze degrés de latitude au Burkina Faso.

L'émondage des ligneux fourragers est largement pratiqué pour compléter l'alimentation du bétail en saison sèche (voir Achard *et al.*, 2000). Cela entraîne la régression ou la disparition des bonnes espèces fourragères (Diallo, 1997; Koita, 1998) : *Khaya senegalensis*, *Pterocarpus erinaceus*, *Azelia africana*, *Prosopis africana*, *Swartzia madagascariensis*.

Les prélèvements de bois et la cueillette

En Afrique tropicale, la pression de prélèvement sur la végétation est élevée (Alexandre & Kairé, 2000). Le bois est la source d'énergie exclusive en zone rurale et la plus utilisée dans bien des villes. Presque toutes les espèces de savane peuvent servir de bois de chauffe, bien que certaines soient préférées (César, 1992). On prélève également pour le bois d'œuvre ou de service; là encore, de nombreuses espèces de savane conviennent. L'exploitation du bois s'est accélérée ces dernières années, particulièrement dans les zones d'accès facile. En dehors des fruits du karité et du néré, systématiquement récoltés, de nombreuses autres parties de plantes (feuilles, racines, écorces etc.) ont un usage alimentaire, médicinal ou artisanal (Helmfried, 1998). La collecte de bois est cependant le prélèvement qui a l'impact le plus important.

À Mouda-Gazad, au Nord du Cameroun (800 mm de pluie par an), on ne trouve presque plus de bois mort dans les friches faciles d'accès. Quel que soit le stade de la jachère, la majorité des ligneux a entre un et trois ans. Les ligneux de plus de neuf ans appartiennent tous à des espèces de peu d'intérêt pour les populations ou sont des espèces dont le bois, très dur, est difficile à couper avec les outils traditionnels (*Balanites aegyptiaca*, *Anogeissus leiocarpus*). Dans les zones de forte exploitation de bois de feu, les espèces les plus recherchées

(*Acacia* sp., *Dalbergia melanoxylon*, *Ziziphus* sp., etc.) disparaissent progressivement et d'abord celles qui rejettent peu de souche (*Khaya senegalensis*, *Pterocarpus* spp., *Celtis integrifolia*, etc.). Les jachères sont alors caractérisées par le maintien des autres espèces (*Scleocarya birrea*, *Sterculia setigera*, *Boswellia dalzielii*), y compris celles conservées pour la production non ligneuse (*Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica*, etc.). On aboutit ainsi à une banalisation des savanes arbustives, qui traduit une forte orientation de la succession par l'Homme (Donfack, 1998).

Au cours des premières années de jachère, la coupe de bois est inexistante, car les ligneux sont encore trop petits, ce qui explique la rapidité de la reconstitution dans les premiers stades postculturels (Donfack *et al.*, 1995). L'exploitation a normalement lieu à partir de cinq ou six ans en zone soudanienne (Yossi, 1996; Donfack, 1998-a; Koita, 1998), mais elle peut être plus précoce (dès trois ans) dans les sites déjà dégradés où le bois est rare (Kaire, 1997, 1999).

Dans certains cas, la pression de prélèvement diminue sur certaines espèces : c'est le cas dans la région de Bondoukuy où certaines espèces ligneuses – autrefois soumises à des prélèvements intensifs pour le bois de forge, activité aujourd'hui délaissée, et la menuiserie, en déclin – sont au contraire en progression : *Prosopis africana*, *Burkea africana*, *Pericopsis laxiflora*, *Lannea acida* (Yangakola, 1997).

L'anthropisation comme facteur global

De manière générale, l'anthropisation agit par cumul des effets de plusieurs facteurs, dont les effets sont souvent similaires.

Cependant, en fonction des conditions locales ou régionales, un facteur ou un autre apparaît comme le plus actif. Ainsi, au Sénégal oriental, région à faible densité de population, le degré de perturbation n'apparaît pas lié à l'âge de la jachère ni à la proximité d'un village; c'est plutôt l'accessibilité par les pistes qui constitue le point clé, car d'importants prélèvements de bois ont lieu pour approvisionner les villes. En Haute-Casamance, où l'élevage traditionnel est en plein essor avec une forte augmentation des populations villageoises et du cheptel, la perturbation la plus forte coïncide avec les sites proches des plus gros villages, d'une part, avec les sites où le passage des feux est régulier et où la pression de pâturage est forte, d'autre part. En Basse-Casamance, la perturbation la plus intense affecte les jachères d'âge moyen (6 à 10 ans) proches du village (Koita, 1998). Au Cameroun, dans les trois sites étudiés, l'analyse montre la prépondérance de la distance au village (Donfack, 1998).

Des indices synthétiques d'anthropisation, qui sont une combinaison pondérée des diverses variables en fonction de leur influence; ont été établis pour le Cameroun (Donfack, 1998) et pour le Sénégal (Koita, 1998). Étudiés dans une analyse de co-inertie, ils se révèlent plutôt satisfaisants pour expliquer la structure floristique et physique de la végétation. Ces résultats confortent l'idée qu'il est légitime de regrouper les effets des diverses activités humaines sur la végétation sous le terme d'anthropisation.

L'expression spatiale des facteurs influençant la végétation

Structuration spatiale du milieu bio-physique, lien avec la végétation et sa dynamique

Quelle que soit l'échelle considérée (zones climatiques et phytogéographiques, gradients édaphiques, topographie, microtopographie, etc.), le milieu naturel est fortement organisé dans l'espace. La variabilité des milieux végétaux s'inscrit également dans l'espace selon deux types de contraintes : celles liées à la nature du substrat et celles liées aux échanges possibles avec les autres unités. Ainsi, deux stations (unités habituelles d'échantillonnage de la végétation) proches dans l'espace ont souvent une forte ressemblance floristique; celle-ci

peut s'expliquer par la similitude des conditions de milieu, mais aussi par l'existence d'échanges de diaspores. La nature et l'intensité des échanges de matière et d'énergie entre unités écologiques est en effet déterminée par leur position spatiale relative, ce qui peut avoir d'importantes répercussions sur leur dynamique. Cela est particulièrement important à prendre en compte dans des milieux en mosaïque comme les zones cultivées d'Afrique tropicale, où, du fait de la perturbation, de forts contrastes peuvent exister entre des sites spatialement très proches. Par exemple, c'est ainsi que la rapidité de la reconstitution des parcelles après l'abandon cultural est nettement influencée par la composition des milieux immédiatement adjacents, et leur capacité à fournir des flux de diaspores plus ou moins riches et abondants (Mitja, 1992 ; Fournier & Nignan, 1997 ; Yoni, 1997). Au sein de la station, à l'échelle du microsite, la reconstitution des jachères semble également en grande partie régie par de tels effets d'échanges à très courte distance (Roux, 1996), phénomènes connus pour d'autres régions également (van der Valk, 1992). Que ce soit dans les jachères ou dans d'autres types de végétation, le succès des germinations est aussi très lié à la disponibilité de « sites sûrs » où les plantules se développent en grand nombre (Grubb, 1977 ; Harper, 1977). C'est donc la structure fine du milieu qui est impliquée dans ces processus, mais peu d'études abordent cette échelle.

Expression spatiale de l'influence des activités humaines sur la végétation

Dans le cadre d'un mode de vie donné, les activités des hommes s'organisent toujours en grande partie en fonction de la structure du milieu bio-physique ; certaines activités ont lieu préférentiellement sur certains types de milieux. Les contraintes engendrées simplement par les distances à parcourir peuvent aussi induire des effets très forts. Comme on l'a déjà vu au sujet de l'anthropisation comme facteur global, c'est dans les jachères proches du village que les prélèvements de bois de feu par les femmes et la coupe sélective du bois de service sont généralement les plus intenses ; ils entraînent la rareté des individus de gros brins dans une auréole périvillageoise (Koita, 1998). Quand le bois est destiné aux villes et transporté par véhicule, c'est la proximité d'une voie d'accès qui détermine la localisation des zones de dégradation de la strate ligneuse, qui peuvent donc être éloignées du village. De même, les zones où la pression pastorale excessive est susceptible d'entraîner diverses dégradations ne sont pas forcément proches du village (Roux, 1996 ; Donfack, 1998-a) ; elles peuvent être liées également à des contraintes de distance, mais qui dépendent d'autres objets (lieux de parage, abreuvement, accessibilité du pâturage en terme de droit local).

De manière générale, l'intensité de la pression anthropique est cependant le plus souvent très liée à la distance au village, qui représente alors une sorte d'indice synthétique du cumul des diverses influences humaines (culture, prélèvement de bois, cueillette, pâturage, etc.). Cela apparaît directement dans les études sur les indices d'anthropisation réalisées par Donfack (1998-a), au Cameroun ; de Koita (1998), au Sénégal ; mais cela apparaît également de façon indirecte à travers la distinction entre champ de brousse et champ de case dans d'autres études. Ainsi la nature de champ de brousse ou de case est-elle l'un des facteurs les plus déterminants pour la composition floristique des jachères qui en sont issues au Burkina Faso (Hien, 1996 ; Fournier *et al.* 2000) et au Mali (Yossi *et al.*, 1998). Dans le terroir de Missira, au Mali, l'âge de la jachère et la distance au village apparaissent très fortement liés (Roux, 1996). Une analyse statistique a mis en évidence les espèces sensibles à ces deux facteurs. Un groupe d'espèces caractérise les jeunes jachères proches du village (*Borassus aethiopicum*, *Annona senegalensis*, *Combretum ghasalense*, *Diospyros mespiliformis*) ; un autre, les jeunes jachères éloignées (*Combretum aculeatum*, *Stereospermum kunthianum*, *Maytenus senegalensis*) ; un autre encore, les jachères âgées proches du village (*Lannea acida*, *L. microcarpa*, *Ximenia americana*, *Securinega virosa*, *Combretum nigricans*, *Strychnos spinosa*) ; un dernier, les jachères âgées et éloignées (*Entada africana*, *Terminalia avicennioides*, *T. macroptera*, *Acacia ataxacantha*, *Sterculia setigera*).

Conclusion sur les facteurs spatiaux

Il est très important de prendre en compte les structures et les échelles spatiales pour comprendre la dynamique de la végétation (Glenn-Lewin & van der Maarel, 1992). Les processus en jeu s'exercent le long d'un continuum spatial depuis l'échelle très fine de la régénération de la plante individuelle, en passant par celui où se produit le remplacement des communautés les unes par les autres, jusqu'à celui du paysage dans son ensemble.

Hiérarchisation des facteurs de variabilité de la végétation postculturelle

Bien que les différents facteurs interagissent fortement comme l'ont montré tous les travaux, il est possible de hiérarchiser leurs effets. Les facteurs climatiques sont les plus forts ; ils déterminent les variations de flore et de structure les plus profondes qui différencient les régions. Ensuite viennent les facteurs édaphiques, qui organisent la végétation en fonction de grandes unités dans le paysage. Ce n'est qu'à l'intérieur de ce cadre que l'on peut interpréter les variations d'origine anthropique. L'âge de la jachère, c'est-à-dire le temps écoulé depuis l'abandon culturel, est sans doute ensuite le facteur le plus déterminant après climat et sol. Dans plusieurs études, la distance au village vient ensuite, mais nous avons vu qu'elle correspond en quelque sorte à un indice synthétique d'anthropisation. Pour les autres facteurs, il est difficile de donner un ordre d'importance, mais la durée de la mise en culture lors du cycle précédent est souvent un facteur plus important que les autres (type de défrichement, type de rotation, entretien plus ou moins soigneux, fumure, etc.). Comme on l'a vu plus haut, l'effet du pâturage n'est pas aisé à mettre en évidence, car il s'agit d'un facteur difficilement quantifiable en situation non expérimentale. Ces difficultés méthodologiques et les résultats peu clairs auxquels elles mènent généralement conduisent certainement à sous-estimer l'influence de ce facteur, dont il conviendrait d'aborder l'étude sous d'autres formes.

On doit donner une place particulière au feu dans la mesure où il est un constituant normal des écosystèmes de savane ; son effet est d'orienter les successions postculturelles vers une végétation de savane, en sélectionnant les espèces pyrotolérantes.

La diversité végétale dans les jachères et son évolution au cours de la succession

Diversité spécifique

Du fait des activités humaines, la biosphère dans son ensemble connaît actuellement une perte massive de biodiversité, dont on essaie d'évaluer les conséquences en termes éthiques, esthétiques ou économiques. Dans la communauté scientifique, on s'interroge également sur les conséquences écologiques potentielles de cette perte : des écosystèmes appauvris fonctionnent-ils de la même façon que des écosystèmes plus riches ? Ont-ils la même productivité et la même stabilité ? Dans cette perspective, il est important d'évaluer le niveau de biodiversité que renferment les écosystèmes de jachère et d'en comprendre la signification.

La biodiversité peut être considérée à l'échelle de la station (plus petite unité écologique de base) ou à celle de la région entière ; la comparaison de ces deux valeurs permet d'évaluer la variabilité entre milieux.

La façon la plus simple d'évaluer la biodiversité est de considérer la richesse en espèces, mais on n'a alors aucune idée de l'importance relative de chacune. Pour tenir compte de la structure spécifique des peuplements, l'indice le plus utilisé est la diversité de Shannon-

Weaver, mais il présente le gros inconvénient d'être influencé par la richesse du peuplement, ce qui rend difficiles les comparaisons entre milieux. On le complète donc souvent par l'indice d'équitabilité (ou de régularité), indépendant de cette richesse.

Variation de la richesse et de la diversité spécifiques des milieux en fonction des zones climatiques

Nous avons déjà vu plus haut que, dans les milieux peu anthropisés, la richesse en espèces d'une région dépend de son appartenance phytogéographique : les milieux les plus humides sont aussi les plus riches. Cependant, si l'on s'intéresse à la flore des savanes au sens strict et non plus à celle de l'ensemble des formations présentes, c'est un autre schéma de variation que l'on observe. En Côte-d'Ivoire et au Burkina Faso, la flore (surtout ligneuse) est bien plus riche au niveau du dixième parallèle que vers le sixième ou le douzième (Fournier, 1991 ; Devineau & Fournier, 1997). Il existe ainsi une zone de richesse floristique optimale qui correspond aux savanes dites soudaniennes. Des études réalisées dans d'autres pays mettent également en évidence ce même lien entre position phytogéographique et richesse floristique (notamment Roux, 1996, au Mali).

La richesse stationnelle moyenne présente également un maximum dans les milieux qualifiés de soudaniens, comme le montrent des données de Côte-d'Ivoire, du Burkina Faso et du Cameroun (Fournier, 1991 ; Devineau & Fournier, 1997 ; Donfack, 1998-a). Au Cameroun, par exemple, cette richesse est en moyenne de vingt-neuf espèces vers treize degrés, sous six cents millimètres annuels de pluie ; de trente-six espèces vers onze degrés, sous huit cents millimètres ; de trente-trois espèces vers neuf degrés, sous mille deux cents millimètres.

Évolution de la richesse et de la diversité spécifiques au cours de la succession postculturale

Les difficultés d'interprétation des données sur la diversité

Le propos est ici de considérer les variations qui se produisent à l'échelle la plus locale, celle de la station homogène de l'écologie ; la diversité prise en compte est généralement qualifiée de « diversité alpha » (Whittaker, 1972). Les données sur l'évolution de la richesse et de la diversité au cours de la reconstitution postculturale en Afrique tropicale ne sont pas extrêmement nombreuses et leur présentation n'est pas homogène. Trois variables descriptives principales sont utilisées (richesse floristique, indice de diversité de Shannon-Wiener et équitabilité), mais il est rare qu'une même étude les fournisse toutes les trois. Par ailleurs, les valeurs sont données tantôt globalement, tantôt par type biologique (herbes ou ligneux). Le mode d'acquisition le plus fréquent de ces données est le mode synchrone ; cette façon de faire repose sur l'hypothèse que les sites d'observation sont identiques, hormis la durée de l'abandon cultural. Les connaissances relatives à la variabilité du substrat et des influences anthropiques dans l'espace et dans le temps contraignent cependant à considérer cette hypothèse comme fragile : les différences entre sites sont de toute évidence fortement influencées par cette variabilité.

Évolution de la diversité de l'ensemble des végétaux (ligneux et herbacés)

Les données relatives à l'ensemble des végétaux ligneux et herbacés diffèrent entre sites. Au Cameroun, la richesse passe de vingt-cinq à une quarantaine d'espèces en vingt-cinq ans de jachère, alors que la diversité de Shannon-Weaver varie peu et que l'équitabilité diminue légèrement jusqu'à huit ans, puis réaugmente légèrement ensuite (Donfack, 1998-a). Au Mali, richesse et diversité augmentent, mais les données ne portent que sur une dizaine

d'années et l'équitabilité n'est pas donnée (Roux, 1996). Au Sénégal, dans les trois régions étudiées (Sénégal oriental, Haute-Casamance, Basse-Casamance, avec 900 à 1 200 mm de pluie par an), la richesse varie peu sur une vingtaine d'années (Koita, 1998 ; Koita & Bodian, 2000). La diversité, mesurée par l'indice de Shannon-Weaver, augmente jusqu'à trois ou cinq ans et décroît ensuite, d'abord lentement jusque vers vingt ans puis plus rapidement au-delà. L'équitabilité, qui n'est donnée que pour la Haute-Casamance, augmente légèrement jusqu'à quatre ans et diminue ensuite (Koita, 1998). Au Burkina Faso, dans le site climatiquement bien plus sec de Gampéla, la diversité, mesurée par divers indices, ainsi que l'équitabilité augmentent jusqu'à dix ans, puis diminuent progressivement jusqu'à trente ans (Zoungrana, 1993). Au total, ces résultats montrent surtout l'importance des remaniements floristiques et des changements de dominance entre les espèces pendant la reconquête du milieu par les plantes savanicoles. Il semble qu'une première phase comporte toujours une augmentation de la richesse et souvent de la diversité, tandis que l'équitabilité est plus variable. Ces données montrent que la richesse et la diversité floristique globales ne constituent pas de très bons indicateurs de l'état de reconstitution des milieux postculturels.

Évolution de la diversité par type biologique (ligneux et herbacés)

Au Cameroun, la richesse et la diversité des ligneux augmentent jusqu'à vingt-cinq ans, tandis que la richesse et la diversité des herbacées augmentent jusqu'à trois ou quatre ans, puis diminuent pendant toute la période d'observation (25 ans). Le même type d'évolution des deux strates est observé au Mali sur dix ans (Roux, 1996) et à peu de choses près sur plus de vingt ans dans trois régions climatiques du Sénégal (Koita, 1998 ; Koita & Bodian, 2000). Dans deux sites, une diminution de la richesse des ligneux survient cependant généralement entre cinq et dix ans et la diminution chez les herbacées ne survient qu'après six ans. Au Burkina Faso, c'est encore la même évolution de la richesse en herbacées qui est observée sur quarante ans environ ; mais une nouvelle augmentation de richesse et de diversité est observée vers vingt-cinq ans (Somé, 1996) ; l'équitabilité augmente jusqu'à six ans puis diminue ensuite avec une nouvelle diminution vers vingt-cinq ans. Dans les savanes du plateau central, Bastide (1996) observe une diminution de la richesse en espèces ligneuses avec l'âge de la jachère (de moins de 8 à plus de 30 ans).

Ainsi, végétaux ligneux et herbacés présentent-ils des comportements différents, mais relativement homogènes entre sites : la richesse des premiers augmente tout au long de la succession tandis que celle des seconds diminue très vite après une première phase d'augmentation. Cela s'explique parce que dans la strate herbacée, divers taxons apparaissent, dominent puis disparaissent, remplacés par d'autres. Par exemple, la séquence de remplacement de *Andropogon pseudapricus* par *Andropogon gayanus* puis par *Andropogon ascindis* sur sols issus de granite a été bien décrite au Burkina Faso (Somé, 1996). La chute de richesse et de diversité en fin de succession peut être attribuée au maintien, dans les stades les plus avancés, d'une flore herbacée stable de savane. Les chevauchements entre stades, caractéristiques d'un milieu en phase très dynamique, qui augmentaient transitoirement la richesse et la diversité, ont disparu. À l'opposé, la plupart des espèces ligneuses, une fois implantées dans la jachère, restent en place. Les phénomènes de dominance sont d'ailleurs généralement moins marqués entre elles, sauf dans les forêts claires où dominent quelques espèces de grands arbres (Koita & Bodian, 2000) et dans quelques cas particuliers (embuissonnement) qui sont traités ailleurs dans ce chapitre (voir aussi Achard *et al.*, 2000). La richesse et l'indice de diversité continuent donc d'augmenter avec l'arrivée de nouveaux taxons tout au long de la reconstitution. L'évolution observée chez les ligneux laisse penser que la compétition interspécifique ne joue qu'un rôle modeste dans la structuration de leurs peuplements. En revanche, chez les herbacés, une forte compétition semble en œuvre dès les toutes premières années de la reconstitution.

Dans les formations forestières fermées semi-décidues de Côte-d'Ivoire, Devineau (1984) et Devineau *et al.* (1984) mettent cependant en évidence une diminution de la richesse floristique des peuplements ligneux avec le temps. Ils en donnent une interprétation mécaniste à l'aide de modèles qui prennent en compte l'évolution de la densité des arbres.

Effet des pressions anthropiques sur la richesse et la diversité spécifiques

Dans les savanes du Cameroun, Donfack (1998-a) estime qu'il est difficile de trouver une relation entre la pression anthropique et la richesse spécifique lorsque tous les types biologiques sont considérés ensemble ; cependant, considérée séparément, la richesse des ligneux diminue quand la pression augmente. Au Mali, les travaux de Yossi (1996) peuvent en fournir une explication ; la nette baisse de la richesse floristique ligneuse qu'il observe vers cinq à dix ans au cours de la reconstitution est interprétée comme la marque du début des prélèvements de bois dans les jachères, lorsque les ligneux atteignent une taille suffisante pour être intéressants pour les populations. Un tel fléchissement apparaît également dans une jachère du Sénégal oriental (Koita & Bodian, 2000). Toujours au Sénégal, dans la région de Nioro du Rip (600 mm de pluie par an), Diatta & Faye (1996) constatent une augmentation de la richesse floristique ligneuse et herbacée dans des placeaux soustraits à la pression anthropique depuis quatre ans.

Les données relatives à la diversité ne fournissent pas de résultats très clairs. Les travaux de Donfack (1998-a) montrent que la pression anthropique a pour effet d'augmenter la diversité (indice de Shannon) de la strate herbacée, mais de diminuer celle de la strate ligneuse. Dans l'expérience réalisée par Rippert (1996), dans des champs juste abandonnés près de Kolda, en zone humide du Sénégal (environ 1 000 mm annuels de pluie), au bout d'un an les parcelles protégées présentent une diversité floristique herbacée plus grande que les témoins pâturés. En revanche, les études de diversité spécifique de Koita (1998), au Sénégal ne révèlent pas de différences très significatives entre niveaux de pression anthropique. Il est vrai que l'indice utilisé, la diversité de Shannon, est sensible à la richesse du peuplement, ce qui peut obscurcir les tendances ; l'examen des équitabilités permettrait peut-être de mieux mettre en évidence un éventuel gradient.

Variation de la richesse et de la diversité spécifiques en fonction des sols et du régime des feux

La richesse spécifique apparaît dans plusieurs travaux comme plus élevée sur sols ferrugineux que sur vertisols (Seghieri, 1990 ; Donfack 1998-a ; Fournier *et al.* 2000), surtout en ce qui concerne les espèces herbacées (Fournier *et al.*, 2000). Le travail de Yossi (1996) ne montre en revanche pas de différence de richesse entre les sols pour l'ensemble des végétaux ligneux et herbacés. Dans ce travail, les ligneux, considérés séparément, sont cependant plus abondants sur les sols limoneux que sur les sols limono-sableux (41 espèces contre 29), mais ce sont en majorité des arbrisseaux tandis que les sols plus sableux portent des arbres. Yossi (1996) remarque en outre que, malgré un schéma d'évolution commun de la diversité (augmentation jusqu'à 10 ans, puis diminution), le nombre moyen d'espèces atteint son maximum à des périodes différentes selon les sols (vers 3 ou 4 ans sur plaines limono-sableuses, mais vers 5 à 10 ans sur matériaux limoneux fins).

Une expérimentation sur les feux et le pâturage a été menée pendant quatre ans par Dembele *et al.*, (2000) à Missira, au Mali. Le feu apparaît comme un facteur fortement déterminant de la diversité, contrairement au pâturage. Entre les sites soumis à trois régimes de feu, les différences de diversité (évaluée à l'aide des indices de Shannon & Weaver) ne sont significatives qu'au bout de trois ans, quel que soit le type de sol. La diminution de diversité au cours des premières années de jachère s'observe dans tous les traitements ; elle

est cependant plus accusée dans les parcelles soumises à un feu tardif ou protégées des feux que dans celles soumises à un feu précoce. Cette baisse de diversité traduit la forte dominance d'une espèce : favorisée par le feu dans le premier cas (*Andropogon pseudapricus*), très sensible au feu dans le deuxième cas (*Pennisetum pedicellatum*). La diversité est significativement différente la deuxième année sur sols limoneux entre les traitements avec feu et le traitement sans feu. Sur les sols limono-sableux, la diversité diffère significativement entre le traitement feu tardif et les deux autres la troisième année.

Discussion

Évolution de la richesse et de la diversité spécifiques au cours de la succession

Des considérations théoriques indiquent que la diversité, en tant que mesure de l'organisation d'un système, peut être un bon indicateur de l'état de maturation d'un système écologique comme de sa stabilité (voir notamment les discussions dans Cancela da Fonseca, 1980; Frontier & Pichod-Viale, 1989). Certains types de distributions d'abondance des espèces (modèle de Mandelbrot notamment) traduiraient une optimisation de la structure multispécifique du système, support d'un réseau d'interactions. En Afrique tropicale, c'est dans les travaux de Devineau (1984) et de Devineau *et al.* (1984) que l'analyse des modèles de distribution d'abondance a été la plus poussée; ils concernent la succession dans la strate ligneuse des forêts semi-décidues de Côte-d'Ivoire en jachères mais surtout dans des sites protégés des feux. Ces travaux montrent que les modèles auxquels les données s'ajustent le mieux changent effectivement au cours de la succession. En accord avec la théorie de Tilman (1982), dite de la « perturbation intermédiaire », ces travaux confirment par ailleurs que les plus fortes diversités sont obtenues pour des taux de ressources modérément limitants (la variation est ici étudiée le long d'un gradient d'humidité édaphique dans les forêts d'une localité, mais aussi sur le gradient climatique forêt dense humide, forêt dense semi-décidue, forêt dense sèche). Cette théorie explique bien les évolutions observées dans les jachères : la succession postculturelle correspond à une saturation progressive du milieu et donc à une disponibilité de plus en plus faible des ressources; au cours du temps, la diversité augmente d'abord puis diminue. La durée pour atteindre le maximum diffère entre milieux d'une même localité et entre régions. Cela s'explique bien dans le cadre de la « perturbation intermédiaire », car le taux de ressources modérément limitant peut survenir plus ou moins rapidement en fonction des caractéristiques propres du milieu considéré.

Le schéma de base de la succession et ses développements actuels

Si l'existence de la succession, qui est une donnée d'observation, n'a jamais été mise en doute, les hypothèses sur les mécanismes qu'elle met en jeu ont fait l'objet de nombreuses discussions (Lepart & Escarré, 1983; Pickett *et al.*, 1987-a et -b; Mc Cook, 1994). Comme une bonne partie de l'histoire de l'écologie végétale, l'approche théorique de la succession est marquée par l'affrontement de deux courants; l'un correspond à une vision holiste de la communauté végétale, ensemble fortement intégré (Clements, 1916, 1928, 1936); l'autre à une vision plus réductionniste et analytique où le comportement de chaque individu ou espèce est considéré individuellement (Gleason, 1927). L'approche holistique, parfois présentée comme dépassée, reste en fait très présente dans la réflexion actuelle (par exemple Drury & Nisbet, 1973; Millet *et al.* 1998); notre profonde ignorance des phénomènes qui agissent à l'échelle de la communauté est notamment soulignée par van Hulst (1992). L'approche hiérarchique de l'écosystème qu'ont proposée les travaux de Allen & Starr (1982) puis de O'Neill *et al.* (1987) permettra peut-être un jour de réunir dans une approche

synthétique les deux visions, en montrant qu'elles se focalisent sur des mécanismes en œuvre à des niveaux d'organisation différents.

Le schéma en six points proposé par Clements (1916) pour décrire les processus qui régissent la succession (tableau II) s'est révélé suffisamment robuste pour rester une base de réflexion pertinente de nos jours. Seul le sixième point est réellement remis en question actuellement, car des conceptions plus dynamiques sont souvent maintenant préférées à celle du climax stable. Pour Clements, la perturbation est simplement l'événement qui initie la succession ; aujourd'hui une bonne partie des perturbations (notamment feu, pâturage) sont plutôt considérées comme des événements récurrents ou « contraintes » qui font partie du fonctionnement normal des écosystèmes (Glenn-Lewin *et al.*, 1992). Leurs effets sur la dynamique de la végétation sont discutés en fonction de leur étendue, de leur fréquence et de leur intensité (voir la synthèse de Glenn-Lewin & Van der Maarel, 1992). La reformulation par Alexandre (1989) de l'ancien concept de *potentiel floristique* a permis une description plus claire de l'arrivée des organismes dans un site après abandon cultural (tabl. III). Après la perturbation apportée par la culture, la végétation se reconstitue à partir de son potentiel floristique, que l'on peut définir comme l'ensemble des espèces capables de s'installer sur un site à un moment donné. Trois catégories peuvent y être distinguées en fonction de la localisation et de l'état des plantes : le potentiel séminal édaphique est constitué par les graines dormantes dans le sol ; le potentiel végétatif correspond aux espèces qui existent déjà sur place à l'état végétatif ; le potentiel extérieur ou advectif est constitué des espèces situées à portée de dispersion. L'individu installé ayant plus de chance de succès que celui qui n'est encore que graine ; celui qui est sur le site, plus que celui qui doit d'abord y arriver ; on doit donc attendre que l'expression des trois potentiels se fasse dans l'ordre : végétatif, séminal, advectif. La question de l'écésis et de la compétition sont souvent considérées aujourd'hui de manière réductionniste ; on essaie d'en saisir les mécanismes à l'échelle du microsite, en mettant l'accent sur le rôle de l'hétérogénéité fine du milieu, car cette dernière influence très fortement le succès des espèces (Veblen, 1992). En s'installant puis en se développant, les espèces modifient les caractéristiques physico-chimiques du milieu, mais aussi le réseau de relations qu'elles entretiennent entre elles ⁽²⁾, si bien que cette dynamique de l'écosystème est elle-même créatrice d'hétérogénéité. L'analyse des traits de vie des espèces (type biologique, mode de reproduction et de dispersion, écophysiologie, résistance aux contraintes et aux prédateurs, etc.) pour la compréhension de leur succès est également une voie de recherche privilégiée actuellement (Pickett *et al.*, 1987-a). La structure du paysage intervient comme une forte contrainte dans l'étape de la migration et détermine largement le potentiel floristique. Elle est également très liée aux caractéristiques des perturbations récurrentes ou non. Ce thème d'étude suscite un intérêt croissant depuis quelques années. L'idée d'une stabilité dans le temps des communautés ou des conditions abiotiques de

Tableau II. Principaux mécanismes régissant la succession d'après Clements (1916).

-
- 1) *dénudation*, création d'une surface totalement ou partiellement nue par une perturbation qui initie la succession,
 - 2) *migration*, arrivée des organismes dans le site ainsi ouvert,
 - 3) *écésis*, installation réussie des organismes dans le site,
 - 4) *compétition*, interaction des organismes dans le site,
 - 5) *réaction*, modification du site par les organismes, d'où changement des aptitudes relatives des espèces à s'installer et à survivre,
 - 6) *stabilisation*, développement d'un climat stable.
-

(2) On retrouve ici la notion classique de niche écologique abordé plus haut.

milieu est aujourd'hui abandonnée au profit de celle d'une variation permanente des communautés et des milieux. Cette dernière s'appuie sur des théories de non-équilibre de la végétation, que ce soit à des échelles de temps et d'espace très réduites (variations à grain fin de l'environnement) ou à ceux des changements globaux.

Principaux modèles de succession et leur validité pour les jachères

Les approches théoriques actuelles sont bien synthétisées par Barbour *et al.* (1999) qui, à l'issue d'une revue des différents modèles proposés depuis Clements, proposent d'expliquer la succession végétale par quatre forces majeures :

- la modification du milieu édaphique par les plantes ;
- les événements fortuits et la longévité des plantes ;
- l'interaction entre espèces ;
- la sélection naturelle à l'échelle de la communauté.

Nous allons évaluer l'influence des trois premières dans les jachères d'Afrique tropicale. La quatrième, la sélection naturelle à l'échelle de la communauté, qui concerne un niveau hiérarchiquement plus élevé dans l'organisation des écosystèmes, sera traitée dans le paragraphe suivant.

La modification du milieu édaphique par les plantes

Le fait que les plantes modifient le milieu au cours de la succession est un fait d'observation. L'idée que c'est cette modification du milieu qui le rend accessible aux groupes successifs de plantes et qui provoque la succession est issue des vues de Clements (1916). Elle correspond au « relais floristique » (Egler, 1954 ; Mc Cormick, 1968) et au « modèle de facilitation » (Connell & Slatyer, 1977).

Dans les jachères africaines, plusieurs travaux viennent appuyer cette hypothèse. La succession en savane soudanienne sur sol ferrugineux est bien connue : adventices, graminées annuelles, graminées pérennes avec d'abord *Andropogon gayanus* puis *Andropogon ascinodis* ; l'installation de chaque nouvelle espèce pérenne se fait par nucléation à partir des zones occupées par l'espèce précédente. Somé & de Blic (1997) ont observé qu'au cours de cette succession les plages occupées par les dernières espèces arrivées présentaient un sol physiquement de mieux en mieux structuré. Le lien étroit mis en évidence par Fournier & Planchon (1998) entre des espèces individuelles ou des groupes d'espèces et certains états hydro-pédologiques du sol dans des échantillons de quelques mètres carrés va également dans ce sens. Ce type de force est d'autant plus apparent que la succession est longue et complète, c'est-à-dire que les savanes sont peu anthropisées.

Les événements fortuits et la longévité des plantes

C'est sous le terme de « composition floristique initiale », que Egler (1954) a émis l'idée que le cours de la succession dépend surtout de l'établissement fortuit de certaines espèces plutôt que d'autres, puis de la durée de vie de chaque espèce. Cette idée est à peu près équivalente à celle du « modèle de tolérance » (Connell & Slatyer, 1977).

Tous les travaux en forêt soulignent l'importance de la composition floristique initiale (potentiels séminal et végétatif) et l'apparition très précoce de beaucoup d'espèces ligneuses. Au début de la succession, ce sont davantage les abondances relatives des espèces que la composition floristique qui varient, ce qui fait dire à Alexandre (1989) que, pendant cette période au moins, la succession des ligneux est davantage physionomique que floristique. En savane humide, Mitja & Puig (1993) notent également que les espèces ligneuses qui domineront dans le stade pseudo-climacique sont déjà présentes dans les champs abandonnés récemment. Certaines espèces ligneuses des savanes plus sèches (notamment *Termina-*

lia avicennioides, *Strychnos spinosa*), qui ne sont pas éliminées par les façons culturales, paraissent également avoir une bonne régénération quel que soit l'âge des jachères (Bastide, 1996; Kairé, 1999; Devineau, 2000). Ce n'est pas le cas pour les herbacées pérennes typiques des savanes pour qui ces potentiels végétatif et séminal sont inexistants. Chez elles, les changements observés au cours des successions correspondent à un véritable remaniement floristique, l'ordre d'implantation et de dominance étant assez prévisible. L'envahissement par les herbes adventices des cultures et les espèces rejetant de souche en début de succession plaide cependant en faveur du modèle de la composition floristique initiale.

L'interaction entre espèces

L'idée est que des interactions (positives ou négatives) entre espèces peuvent provoquer certaines successions. Elle inclut le « modèle d'inhibition » de Connell & Slatyer (1977), qui suppose que les espèces pionnières inhibent la succession par allélopathie ou par d'autres mécanismes et ne sont remplacées par d'autres que lorsqu'elles meurent ou sont endommagées.

C'est manifestement ce type de force qui est en jeu dans les blocages au stade à annuelles étudiés par Fournier & Nignan (1997) dans certaines jachères de savane du Burkina Faso et dans l'envahissement des savanes plus humides de Côte-d'Ivoire par des brousses à *Chromolaena odorata* (Gautier, 1992). La description du remplacement de *Andropogon gayanus* par l'autre herbacée pérenne *A. asciodis* avec vieillissement et morcellement des touffes de la première espèce, que donnent César & Coulibaly (1993) pour les jachères de Côte-d'Ivoire, correspond également à ce mécanisme. La plupart des interactions sont cependant indirectes, car l'effet positif ou négatif d'une espèce vis-à-vis d'une autre passe généralement par divers changements du milieu (ombrage, modification du sol, etc.). La limite est parfois floue entre ce qui est lié aux modifications du milieu par les plantes et ce qui est dû à l'interaction entre espèces (forces 1 et 3). Par exemple, c'est le cas des touffes d'herbacées pérennes de savane dont le centre évidé abrite une germination de ligneux, qui profite ainsi d'un sol plus riche et d'une certaine protection contre le feu (Fournier, non publié).

Il faut bien admettre, avec les divers auteurs qui ont travaillé sur les jachères, que les trois forces doivent être en œuvre successivement ou simultanément et qu'aucun des modèles qui s'y rattachent ne peut rendre compte à lui seul de la totalité d'une succession. Selon les espèces ou groupes d'espèces (éventuellement considérés deux à deux dans le cas des forces 1 et 3), l'une ou l'autre de ces forces sera en œuvre à un moment donné de la succession. Glenn-Lewin & van der Maarel (1992) font cependant remarquer que l'interprétation d'une évolution de la végétation selon l'un de ces modèles dépendra beaucoup de l'échelle spatiale à laquelle on se placera. Des phénomènes de facilitation, visibles à une échelle très locale, ne seront pas perceptibles si l'on considère dans leur ensemble des superficies plus vastes.

L'émergence de nouveaux systèmes dans un contexte de forte anthropisation

Dans les régions naguère couvertes de savanes, on observe aujourd'hui, sous une pression anthropique intensifiée, la mise en place de nouveaux écosystèmes; tout se passe comme si une pression de sélection était à l'œuvre pour les adapter à ces nouvelles conditions. C'est sans doute à ce type de phénomène que pensent Barbour *et al.* (1999) lorsqu'ils ajoutent la sélection naturelle à l'échelle de la communauté aux trois forces susceptibles d'expliquer les successions; ce faisant, ils adoptent une échelle d'appréhension qui correspond à une approche systémique. L'idée est que les communautés des stades finaux de la succession pourraient, tout comme les populations, avoir été soumises à la sélection naturelle, avec pour résultat une optimisation des contraintes en temps et en allocation d'énergie (Cody, 1974); cette optimisation se traduirait généralement par certains types de structuration des peuplements. Le concept de stratégie cénotique développé par Blandin *et al.* (1976) et par Blandin

(1979) comporte également l'idée d'une adaptation de l'ensemble du système. Ainsi, dans les végétations soumises à des perturbations récurrentes, le cours de la succession permettant de revenir aux stades finaux pourrait être déterminé par des forces qui agissent à une échelle plus vaste que celle des populations. Il est certes difficile d'imaginer une sélection darwinienne qui s'exerce directement à l'échelle des écosystèmes, comme elle le fait à celui des populations. Cependant, comme le font remarquer O'Neill *et al.* (1986), les espèces peuvent être sélectionnées autant pour leur compatibilité avec les autres espèces que pour leur tolérance aux conditions abiotiques. On peut ainsi admettre qu'une force de sélection qui agit à l'échelle des communautés résulte de la sélection darwinienne des espèces et qu'elle constitue une propriété émergente de l'écosystème. C'est certainement ce type de force de sélection qui est en jeu quand un écosystème bascule d'un état à un autre pour s'adapter à de nouvelles conditions de milieu qui exigent une transformation plus profonde qu'un simple ajustement.

La notion d'incorporation d'une perturbation récurrente, due à Allen & Starr (1982), postule qu'une perturbation récurrente peut devenir un élément du système, c'est-à-dire que le système exerce sur elle un certain contrôle, rendant possible une régulation et une stabilisation. Dans l'optique d'une adaptation des communautés considérées dans leur ensemble, cette notion permet d'éclairer la différence entre les écosystèmes de savanes sous régime de jachères longues et les nouveaux écosystèmes sous régime de jachères courtes. On peut considérer les écosystèmes de savane comme ayant incorporé, dans un contexte de potentiel floristique assez riche, les deux types de perturbations majeures que sont le feu et le pâturage. Les écosystèmes cultivés qui se mettent en place actuellement dans un contexte de banalisation floristique s'organisent quant à eux sous un nouveau système de contraintes. Les perturbations majeures qu'ils doivent incorporer pour perdurer sont le défrichement répété, la longue culture et l'anthropisation générale qui les accompagne. Le feu, dont le passage devient difficile, ne joue plus un rôle prépondérant; le pâturage peut continuer à jouer un rôle important, mais il s'agit à présent surtout de troupeaux de petits ruminants qui se concentrent sur les quelques jachères qui subsistent, car les grands troupeaux de bovins ne peuvent se maintenir en l'absence de parcours suffisamment vastes.

En forêt, dans les écosystèmes peu anthropisés où les défrichements peu fréquents peuvent s'assimiler à de grands chablis, la lumière redevient vite le facteur le plus limitant. Ils s'opposent aux écosystèmes très cultivés, où ce sont les coupes répétées et l'ouverture du milieu qui deviennent les déterminants majeurs. La modification du système de contraintes le long des gradients climatique et d'anthropisation s'exprime dans le changement d'importance relative des différents types de potentiels floristiques dans la reconstitution postculturelle (tableau III). En forêt comme en savane, seul un petit nombre d'espèces adaptées aux nouvelles contraintes se maintiennent et leur état sert d'indicateur aux cultivateurs pour la mise en route d'un nouveau cycle culturel. Dans la mise en place d'une flore adaptée à ces milieux, d'autres facteurs humains peuvent intervenir, comme la protection active – généralement en vue d'usages particuliers – de certaines espèces ou de certains espaces par les populations (Le Mire Pêcheux *et al.*, 2000). Une structuration des paysages par affectation d'unités à des usages spécialisés (culture, pâturage, conservation) contribuera sans doute à faire émerger de nouveaux écosystèmes.

Tableau III. Variation de la nature et de l'importance relative⁽⁺⁾ des trois potentiels floristiques selon Alexandre (1989) pour la reconstitution postculturale en fonction de la zone climatique et du degré d'anthropisation.

Zone éco-climatique (principale contrainte)	Potentiel végétatif	Potentiel séminal édaphique	Potentiel adventif
Sahel forte anthropisation* (eau)	+ espèces ligneuses utiles maintenues dans les champs résistantes à la coupe répétée	+++ herbes annuelles adventives non éliminées par la jachère	+ flore sahélienne (surtout herbacées annuelles) adaptée à la résistance à la sécheresse
Région des savanes faible anthropisation** (feu)	+++ espèces ligneuses de savane, non éliminées par la courte culture	faible les adventives des cultures ont été éliminées par la jachère ; chez les espèces de savane il n'y a pas de banque de graines dans le sol	+++ flore de savane : herbes pérennes, ligneux pyrotolérant
Régions des savanes Forte anthropisation* (défrichements répétés, anthropisation générale du milieu)	+++ espèces utiles maintenues dans les champs, espèces résistant à la coupe répétée	+++ adventives qui ne sont pas toutes éliminées par la jachère	+ flore banalisée de savane, proche de celle du potentiel végétatif ; les herbes pérennes se raréfient
Forêt Faible anthropisation** (lumière)	+ flore forestière non éliminée par la courte culture	+++ espèces ligneuses de la flore des chablis, pionniers	+ espèces ligneuses sciaphiles et surtout tolérantes ; beaucoup de ligneux
Forêt Forte anthropisation* (défrichements répétés, anthropisation générale du milieu)	+++ plantes protégées ; plantes résistant à la coupe	+++ flore spécifique des jachères ; herbacées adventives	+ espèces de brousses dégradées, beaucoup d'herbacées

* Culture longue et jachère courte.

** Culture courte et jachère longue.

Prospective : évolution des paysages et des écosystèmes africains

Menée à son terme, la succession postculturale est supposée ramener la végétation à un état proche de celui qui prévalait avant la mise en culture ; cet état dépend étroitement des conditions climatiques et édaphiques locales. C'est effectivement ce que l'on observe quand les perturbations sont d'amplitude limitée ; la succession apparaît alors directionnelle et prévisible. En forêt humide, l'évolution postculturale diffère alors peu des phases normales de la sylvigénèse, où le chablis joue un rôle central en ouvrant momentanément le milieu ; cette perturbation qui fait partie intégrante du fonctionnement de ces milieux en permet le maintien. Cependant, cette situation est de plus en plus rare, les milieux que l'on défriche en forêt sont de plus en plus modifiés par rapport aux forêts d'origine, si bien que chaque nouveau cycle cultural conduit à un nouvel état plus ou moins imprévisible (voir par exemple

les travaux de Gautier, 1992, sur le rôle de *Chromolaena odorata* en Côte-d'Ivoire). La forêt primaire recule et les paysages se modifient. Pour Gautier (1992) :

Il y a donc lieu de penser que l'on s'achemine lentement vers une sorte de paysage agricole où, sous des arbres particulièrement utiles pour des usages traditionnels, s'établit un système de culture à cycle court (< 5 ans) dont la jachère est dominée par Chromolaena odorata, de manière de plus en plus exclusive.

Alexandre (1989) décrit un paysage de « brousses dégradées » : les plantes à souches résistantes prennent une part croissante dans la végétation, le potentiel extérieur prenant à l'opposé une importance relative moindre ; l'auteur ajoute qu'à ce stade d'anthropisation la naturalisation d'espèces allochtones devient facile et rapide. Il envisage encore le stade suivant où l'agriculture devient permanente, avec une simplification extrême de l'agrosystème ; la complexité réapparaît cependant à une autre échelle avec la construction d'un paysage spécialisé avec ses diverses zones cultivées (champs, vergers), ses haies et ses réserves forestières. De même, dans les régions de savane et sur leurs marges, les milieux postculturels sont rarement laissés totalement à eux-mêmes jusqu'à la complète reconstitution. Ils sont plus généralement soumis à divers types de perturbations récurrentes, principalement d'origine anthropique, qui compliquent et tronquent les successions (Westoby 1980 ; Walker, 1981 ; Walker *et al.*, 1981 ; Walker, 1985). La forte variabilité dans l'espace et dans le temps de la végétation de savane est due à divers types de facteurs (Frost *et al.*, 1986 ; Donfack *et al.*, 1995) : hétérogénéité du substrat édaphique et des facteurs d'utilisation anthropique, coexistence dans ces formations de végétaux ligneux et herbacés en compétition dont la proportion est fortement influencée par les facteurs anthropiques, principalement le feu et le pâturage. Dans de tels systèmes, que Ludwig *et al.* (1997) qualifient d'« excitables », des déplacements fréquents et souvent importants des équilibres sont extrêmement probables ; mais Floret & Donfack (C.E.E., 1998) pensent que, quand un certain degré d'anthropisation est atteint, la pression humaine très forte et très prolongée laisse peu de place aux événements rares ou stochastiques qui pourraient modifier les trajectoires des successions. Des pressions comme le labour périodique, le pâturage et la coupe des ligneux deviennent des contraintes régulières pour le système et un équilibre métastable s'établit. Actuellement, dans les formations post-culturelles en savane soudanienne, cet état d'équilibre méta-stable est atteint après un minimum d'environ six années d'évolution. Avec la réduction des temps de jachère ou l'exploitation excessive des biomasses disponibles, ces équilibres eux-mêmes se rompent tôt ou tard et un nouvel état sera atteint.

Conclusion

Un schéma synthétique général des successions postculturelles en Afrique de l'Ouest a été proposé dans le présent travail. Il présente le remplacement des types biologiques les uns par les autres au cours de la reconstitution du milieu. Les variations observées par rapport à ce schéma dans les divers sites et régions sont interprétées en fonction du gradient éco-climatique, du substrat édaphique ou du mode d'utilisation des terres, un élément clé du schéma est l'identification du facteur écologique le plus contraignant. Les différents autres facteurs qui influencent leur variabilité sont identifiés et hiérarchisés. C'est le gradient éco-climatique ouest-africain qui constitue la contrainte la plus forte, tant sur le plan floristique que sur le plan fonctionnel ; la composition floristique des stades successifs, la durée du processus de reconstitution et la structure physionomique des communautés lui sont très fortement liées. La végétation des jachères s'organise ensuite dans le paysage en grandes unités liées au substrat édaphique ; les variations entre elles sont d'ordre floristique et fonctionnel. Ce n'est qu'à l'intérieur du cadre ainsi tracé que l'on peut enfin interpréter les variations d'origine

anthropique. Les divers facteurs anthropiques, qui ont souvent des effets similaires et agissent par cumul, sont difficiles à hiérarchiser; ce résultat permet de renforcer la légitimité d'une approche de l'anthropisation comme un facteur global. C'est ainsi que l'état d'un site apparaît souvent comme très bien expliqué par sa distance au village, car cette dernière représente une sorte d'indice synthétique de l'ensemble des pressions anthropiques, généralement plus fortes près du village. Les variations de la végétation sont ensuite très liées à l'âge de la jachère (c'est-à-dire à l'éloignement dans le temps de la perturbation initiale), mais d'autres facteurs peuvent provoquer des blocages à certains stades. Au total, c'est l'importance de la perturbation (en durée ou en intensité) qui semble décisive pour déterminer l'état de la végétation. Les conditions les plus défavorables sont des périodes de culture de longue durée, répétées, incluant une destruction poussée du couvert et suivie d'une utilisation forte de la jachère. Le cas du feu est particulier. Les données conduisent de plus en plus de scientifiques à penser qu'il a modelé les paysages bien avant l'apparition des hommes dont l'action a surtout été d'imprimer un régime des feux plus régulier. L'effet du feu dans les milieux de jachère est surtout de permettre le maintien ou la mise en place d'une flore et d'une structure de savane par la sélection de plantes pyrotolérantes et par le déplacement de l'équilibre en faveur des herbacées. Son absence entraîne une évolution vers d'autres types de milieux. L'importance de l'influence du pâturage est manifeste, mais les résultats sont souvent peu clairs ou contradictoires, faute de méthodes capables de rendre compte avec suffisamment de précision de l'impact des troupeaux, qui est très hétérogène dans l'espace et dans le temps. Il s'agit, comme le feu, d'un facteur qui a modelé les savanes depuis des temps reculés. Feu et pâturage sont ainsi des contraintes normales du système en savane; la perturbation principale reste le défrichement pour la mise en culture.

Richesse et diversité floristique considérées globalement ne sont pas des indicateurs très précis de l'état de reconstitution des milieux. Leur évolution devient plus facile à interpréter quand strate ligneuse et strate herbacée sont considérées séparément: en savane tout au moins, la richesse des ligneux augmente tout au long de la succession, tandis que celle des herbacés diminue très rapidement après la phase d'augmentation initiale. Cela s'explique bien dans le cadre de la théorie dite de la «perturbation intermédiaire» (Tilman, 1982) qui dit que les plus fortes diversités correspondent à des taux de ressource modérément limitants, car ces taux peuvent survenir plus ou moins rapidement en fonction des organismes considérés et des caractéristiques des milieux considérés.

Toutes les données et analyses concordent pour montrer qu'aucun des trois modèles (facilitation, composition floristique initiale, inhibition) proposés par Connell & Slatyer (1977) ne suffit pour rendre compte de la totalité d'une succession considérée à l'échelle stationnelle, mais que l'on doit plutôt considérer que les forces décrites par ces modèles sont en œuvre successivement ou simultanément. À l'échelle de l'écosystème dans son ensemble, on doit admettre que d'autres forces sont en action pour sélectionner certains types de successions adaptées aux contraintes principales. La notion d'incorporation d'une perturbation récurrente permet de rendre compte des évolutions observées. La savane qui disparaît peu à peu est un ensemble d'écosystèmes floristiquement riches, régis par la contrainte du feu et du pâturage. Les écosystèmes sous régime de jachère courte qui se mettent en place dans le contexte actuel sont en revanche régis par d'autres contraintes qui correspondent aux perturbations récurrentes d'un défrichement répété et du cortège de pressions anthropiques qui l'accompagne. Ces modifications entraînent une banalisation des flores, sans perte de productivité dans un premier temps, et une redistribution de l'importance des trois types de potentiels floristiques (végétatif, séminal, advectif) dans la reconstitution de milieu.

Remerciements

Les auteurs remercient Édouard Le Floch pour ses commentaires sur la version initiale du document.

Références

- Achard Fr., Hiernaux P. & Banoin M. (2000). « Les jachères fourragère naturelle et améliorée en Afrique de l'Ouest », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. II., pp. 201-240.
- Adedeji F.O. (1984). « Nutrient cycles and successional changes following shifting cultivation practice in moist semi-deciduous forests in Nigeria », *Forest Ecology and Management*, vol. IX, n° 2 : pp. 87-99.
- Alexandre D.-Y. (1978). « Observations sur l'écologie de *Trema guineensis* en basse Côte-d'Ivoire », *Cah. Orstom, sér. Biol.*, vol. XIII, n° 3 : pp. 261-266.
- Alexandre D.-Y. (1982). « Aspects de la régénération naturelle en forêt dense de Côte-d'Ivoire », *Candollea*, vol. XXXVII, n° 2 : pp. 579-588.
- Alexandre D.-Y. (1989). *Dynamique de la régénération naturelle en forêt dense de Côte d'Ivoire*, Paris, Orstom, 102 p. (coll. *Études et thèses*).
- Alexandre D.-Y. & Kairé M. (2001). « Les productions des jachères soudaniennes (bois et produits divers) », in Floret & Pontanier (éd., 2001) : vol. II., pp. 169-200.
- Alexandre D.-Y., Guillaumet F., Kahn F. & de Namur Ch. (1978). « Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire). Conclusion : caractéristiques des premiers stades de la reconstitution. », *Cah. Orstom, sér. Biol.*, vol. XIII, n° 3 : pp. 267-270.
- Allen T.F.H. & Starr Th. B. (1982). *Hierarchy : perspectives for ecological complexity*, Chicago, The University of Chicago Press, 310 p.
- Aronson J., Floret Chr., Le Floch É., Ovalle C. & Pontanier R. (1993-a). « Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands », I, « A view from the South », *Restoration Ecology*, n° 1 : pp. 8-17.
- Aubréville A. (1950). *Flore forestière soudano-guinéenne*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 523 p.
- Aubréville A. (1957). « À la recherche de la forêt en Côte-d'Ivoire », *Bois et Forêts tropicales*, n° 56 : pp. 17-32.
- Aweto A.O. (1981). « Secondary succession and soil fertility restoration in South-Western Nigeria », I, « Succession », *Journal of Ecology*, vol. LXIX, n° 2 : pp. 601-607.
- Barbault R., Blandin P., Meyer J.A. (éd.) (1979). *Problèmes d'écologie théorique : les stratégies adaptatives*, Paris, Maloine, 299 p.
- Barbour M.G., Burk J.H. & Pitts W.D., Gilliam F.S., Schwartz M. W. (1999). *Terrestrial Plant Ecology*, 3^e éd., San Francisco, The Benjamin-Cummings Publishing Cie.
- Bastide B. (1996). *Seuils de reconstitution des populations de ligneux à usages multiples et leur rôle dans l'amélioration des sols dégradés*, Rapport de mission d'appui, Ouagadougou, Institut de recherche en biologie et écologie tropicale (Irbet), 67 p.
- Blanc-Pamard C. (1979). *Un jeu écologique différentiel : les communautés rurales du contact forêt-savane au fond du « V baoulé » (Côte-d'Ivoire)*, Paris, Orstom, 313 p. (coll. *Travaux et documents*, n° 107).
- Blandin P. (1979). « Évolution des écosystèmes et stratégies cénotiques », in Barbault et al. (éd., 1979) : pp. 221-235.
- Blandin P., Barbault R. & Lecordier Ch. (1976). « Réflexions sur la notion d'écosystème : le concept de stratégie cénotique », *Bull. Écol.*, n° 7 : pp. 391-410.
- Bodian A., Koita B., Donack P. & Yossi H. (1998). « Typologie des jachères et diversité végétale », in C.C.E. (éd., 1998) : pp. 37-46.
- Boudouresque E. (1995). *La végétation aquatique du Liptako*, th., univers. Paris-XI, Orsay, 326 p.
- Cancela da Fonseca J.P. (1980). « Le concept de diversité, le chevauchement des niches écologiques et l'organisation des systèmes écologiques », *Acta Oecol., Oecol. gener.*, n° 1 : pp. 293-305.

- C.C.E. (Commission des Communautés européennes) (1998). *Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal)*, rapport final, Floret (Chr., éd.), Paris, Commission des Communautés européennes, Contrat TS3-CT93-0220 (DG 12 HSMU)-I.R.D., 245 p.
- César J. (1992). *La production biologique des savanes de Côte-d'Ivoire et son utilisation par l'homme : Biomasse, valeur pastorale et production fourragère*, Maisons-Alfort (France), Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (I.E.M.V.T.)-Cirad, 671 p.
- César J. & Coulibaly Z. (1993). « Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le nord de la Côte-d'Ivoire », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 415-434.
- Chevalier A. (1951). « Sur l'existence d'une forêt vierge sèche sur de grandes étendues aux confins des bassins de l'Oubangui, du haut Chari et du Nil (Bahr-el-Ghasal) », *Rev. Bot. appl.*, n° 31 : pp. 135-136.
- Christ H. (1892). « La flore dite « ancienne africaine » », *Arch. Sc. phys. et nat.*, 3^e période, n° 28 : pp. 1-48.
- Cissé M.I., Hiernaux P. & Diarra L. (1993). « Intégration agro-pastorale au Sahel : dynamique et potentiel fourrager des jachères », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 405-413.
- Clements F.E. (1916). *Plant succession : an analysis of the development of vegetation*, Carnegie Inst. of Washington, Washington, Publ. 242, 512 p.
- Clements F.E. (1928). *Plant succession and indicators. A definite edition of Plant Succession and Plant indicators*, New York, Wilson, 453 p.
- Clements F.E. (1936). « Plant succession. Nature and structure of the climax », *J. Ecol.*, n° 24 : pp. 252-284.
- Cody M.L. (1974). « Optimization in ecology », *Science*, n° 183 : pp. 1156-1164.
- Colinvaux P. (1982). *Invitation à la science de l'écologie*, Paris, Seuil, 252 p.
- Connell J.M. & Slatyer R.O. (1977). « Mechanisms of succession in natural communities and their role community stability and organization », *Am. Nat.*, n° 111 : pp. 1119-1144.
- Debusche M., Escarré J., Lepart J., Houssard C. & Lavelle S. (1996). « Change in Mediterranean plant succession : Old-field revisited », *Journal of Vegetation Science*, vol. VII, n° 4 : pp. 519-526.
- Delabre É. (1992). *Caractérisation et évolution d'écosystèmes anthropisés sahéliens : les milieux post-culturels du sud-ouest nigérien*, th., écologie, univers. Pierre-et-Marie-Curie, Paris-VI, 289 p.
- Dembele F. (1992). *Contribution à l'étude de la dynamique de la végétation en zone guinéenne nord du Mali. Cas de la succession post-culturelle au sud-ouest de Kita*, D.E.A., écosystèmes continentaux arides, méditerranéens et montagnards, faculté des sciences et techniques Saint-Jérôme, univers. de Marseille, 30 p.
- Dembele F. (1996). *Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne nord. Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (cercle de Kolokani), Mali*, th. doct., univers. Aix-Marseille-III, 179 p.
- Dembele F., Le Floch É. & Yossi H. (1998). « Influence du feu et du pâturage sur la succession herbacée des jeunes jachères en zone soudanienne nord du Mali », in C.C.E. (éd., 1998) : pp. 47-54.
- Descoings B. (1976). *Approche des formations herbeuses tropicales par la structure de la végétation*, th. doct. État, Univers. des sciences et techniques du Languedoc (U.S.T.L.), Montpellier, 221 p.
- Devineau J.-L. (1984). *Structure et dynamique de quelques forêts tropicales de l'Ouest africain (Côte-d'Ivoire)*, th. doct. État, Sciences naturelles, univers. Pierre-et-Marie-Curie, Paris-VI, 294 p.
- Devineau J.-L. (1986). *Impact écologique de la recolonisation des zones libérées de l'onchocercose dans les vallées burkinabé (Nazinon, Nakanbé, Mouhoun, Bougouriba)*, rapport final, convention Orstom-O.M.S., Projet de lutte contre l'onchocercose, 151 p. + cartes.
- Devineau J.-L. (1997). « Évolution saisonnière et taux d'accroissement des surfaces terrières des ligneux dans quelques peuplements savanicoles soudanais de l'ouest burkinabé », *Écologie*, vol. XXVIII, n° 3 : pp. 217-232.
- Devineau J.-L. (1999-a). « Rôle du bétail dans le cycle culture-jachère en région soudanienne : la dissémination d'espèces végétales colonisatrices d'espaces ouverts (Bondoukuy, sud-ouest du Burkina Faso) », *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. LIV : pp. 1-25.
- Devineau J.-L. (1999-b). « Seasonal rhythms and phenological plasticity of savanna woody species in a fallow-farming system (South West Burkina Faso) », *Journal of Tropical Ecology*, n° 15 : pp. 497-513.

- Devineau J.-L. (2000). « Structures des populations et écologie des principales espèces ligneuses alimentaires et fourragères dans un système culture-jachère (sud-ouest du Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 000-000.
- Devineau J.-L., Lecordier C. & Vuattoux R. (1984). « Évolution de la diversité spécifique du peuplement ligneux dans une succession préforestière de colonisation d'une savane protégée des feux (Lamto, Côte-d'Ivoire) », *Candollea*, n° 39 : pp. 103-134.
- Devineau J.-L., Fournier A. & Kaloga B. (1997). *Les sols et la végétation de la région de Bondoukou (Ouest burkinabé). Présentation générale et cartographie préliminaire par télédétection satellitaire (Spot)*, Paris, Orstom, 126 p., 1 carte h. t.
- Devineau J.-L. & Fournier A. (1997). « Flore et végétation », in Devineau et al. (éd., 1997) : pp. 27-47.
- Diallo M.S. (1995). *Biologie et écologie de la graminée Cymbopogon schoenanthus (L.) Spreng en zone soudanienne du Burkina Faso. Cas de Bondoukou (province du Mouhoun)*, mém. D.E.A., Sciences biologiques appliquées, option biologie et écologie végétales, faculté des sciences et techniques, univers. de Ouagadougou, Fast-Orstom, 112 p.
- Diallo M.S. (1997). *Recherches sur l'évolution de la végétation sous l'effet de la pâture dans l'Ouest du Burkina Faso (zone soudanienne). Cas de Bondoukou, Kassaho et Kourouma*, th. 3^e cycle, sciences biologiques appliquées, biologie et écologie végétales, univers. de Ouagadougou, 163 p.
- Diatta M. & Matty F. (1993). « Dynamique de la végétation ligneuse sur d'anciennes terres de culture sur cuirasse au Sénégal », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 307-318.
- Diatta M. & Faye E. (1996). « Effets de quelques années de protection sur la jachère en zone sahélo-soudanaise du Sénégal : structure et production primaire », in Floret (éd., 1996) : pp. 33-41.
- Djimadoun M. (1993). *Adventices des cultures dans la région de Bondoukou : étude de la flore, de l'écologie et de la nuisibilité*, mém. ingén., option agronomie, Paris-Ouagadougou, Orstom-I.D.R. (Institut du développement rural), 96 p.
- Donfack P. (1993). *Étude de la dynamique de la végétation après abandon de la culture*, th. 3^e cycle, univers. de Yaoundé, 192 p.
- Donfack P. (1998-a). *Végétation des jachères du Nord Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, production*, th. doct. État, sciences de la nature, univers. de Yaoundé-I, faculté des sciences, 225 p.
- Donfack P. (1998-b). « Dynamique de la végétation ligneuse post-culturelle en zone sahélo-soudanaise du Cameroun », in C.C.E. (éd., 1998) : pp. 55-62.
- Donfack P., Floret Ch. & Pontanier R. (1995). « Secondary succession in abandoned fields of dry tropical Northern Cameroon », *Journal of Vegetation Science*, n° 6 : pp. 499-508.
- Donfack P., Amougou A. & Moukouri Kuoh H. (2000). « Fonctionnement écologique des jachères courtes : un cas de l'influence du feu sur les indicateurs de reconstitution au Nord-Cameroun », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol I, pp. 369-377.
- Drury W.H. & Nisbet I.C.T. (1973). « Succession », *Journal of the Arnold Arboretum*, n° 54 : pp. 331-368.
- Egler F.E. (1954). « Vegetation science concepts. Initial floristic composition, a factor in old field vegetation development », *Vegetatio*, n° 4 : pp. 412-417.
- Floret Ch. (éd.) (1996). *La jachère, lieu de production*, actes de l'atelier, Bobo-Dioulasso, 24 oct. 1996, Coraf, 144 p.
- Équipe Hyperbav (1990). *Structure et fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane humide*, Paris, Orstom, 307 p. (coll. *Études et thèses*).
- Floret Ch., Pontanier R. & Serpantié G. (1993). *La jachère en Afrique tropicale*. Dossier Mab 16, Paris, Unesco, 86 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1997). *Jachère et maintien de la fertilité*, actes de l'atelier international, Bamako, 1-4 oct. 1997, Dakar, Coraf-Orstom-Union européenne, 146 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances*, Paris, John Libbey, 804 p. & 356 p.
- Floret Ch. & Serpantié G. (1993). *La jachère en Afrique de l'Ouest*, atelier international, Montpellier 1991, Paris, Orstom, 494 p.
- Fournier A. (1991). *Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique*, Paris, Orstom, 312 p. (coll. *Études et thèses*).

- Fournier A. (1994). « Cycle saisonnier et production nette de la matière végétale herbacée en savanes soudanaises pâturées. Les jachères de la région de Bondoukui (Burkina Faso) », *Écologie*, vol. XXV, n° 3 : p. 173-188.
- Fournier A. (1996). « Dans quelle mesure la production nette de matière végétale herbacée dans les jachères en savane soudanienne est-elle utilisable pour le pâturage? », in Floret (éd., 1996) : pp. 101-111.
- Fournier A. & Nignan S. (1997). « Quand les annuelles bloquent la succession postculturale... Expérimentations sur *Andropogon gayanus* », *Écologie*, t. XXVIII, n° 1 : pp. 13-21.
- Fournier A. & Planchon O. (1998). « Link of vegetation with soil at a few meter-scale : herbaceous floristic composition and infiltrability in a Sudanian fallow-land », *Acta Oecologica*, vol. XIX, n° 3 : pp. 215-226.
- Fournier A., Yoni M. & Zombre P. (2000). *Les jachères à Andropogon gayanus en savane soudanienne : flore, structure, déterminants et fonction dans l'écosystème. Cas de Bondoukuy dans l'ouest du Burkina Faso. Études sur la flore et la végétation de Burkina Faso et des pays avoisinants*, Francfort-Ouagadougou, Verlag Natur & Wissenschaft, Solingen : pp. 3-32.
- Fournier A., Hien M. & Millogo-Rasolodimby J. (2000). « Les jachères de moins de cinq ans en savane soudanienne : richesse floristique, structure de la végétation. Cas de Bondoukuy (Ouest du Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 390-399.
- Frost P.G.H., Medina E., Menaut J.-C., Solbrig O.T., Swift M. & Walker B.H. (1986). « Responses of savana to stress and disturbance : a proposal for a collaborative program of research », *Biology international Special Publication* (I.U.B.S.), n° 10 : pp. 1-82.
- Frontier S. & Pichod-Viale D. (1991). *Écosystèmes : structure, fonctionnement, évolution*, Paris-Milan-Barcelone-Bonn, Masson, 320 p.
- Gautier L. (1989). « Contact forêt-savane en Côte-d'Ivoire centrale : évolution de la surface forestière de la réserve de Lamto (sud du V Baoulé) », *Bull. Soc. Bot. Fr. (Actual. Bot.)*, n° 3-4 : pp. 85-92.
- Gautier L. (1990). « Contact forêt-savane en Côte-d'Ivoire centrale : évolution du recouvrement ligneux des savanes de la réserve de Lamto (sud du V Baoulé) », *Candollea*, n° 45 : pp. 628-629.
- Gautier L. (1992). *Contact forêt-savane en Côte-d'Ivoire centrale : rôle de Chromolaena odorata (L.) R. King & H. Robinson dans la dynamique de la végétation*, th. univers. de Genève, 268 p.
- Gignoux J. (1994). *Modélisation de la coexistence herbes/arbres en savane*, th., Paris-Paris-Grignon, Ina-École normale supérieure, 273 p.
- Gillon Y., Chaboud Chr., Boutrais J.-B. & Mullon Chr. (éd.) (2000). *Du bon usage des ressources renouvelables. Colloque de clôture de l'action incitative Dynamique et usage des ressources renouvelables*, Orléans, oct. 1997 Paris, IRD Editions.
- Gleason H.A. (1926). « The individualistic concept of the plant association », *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, n° 53 : pp. 1-20.
- Glenn-Lewin D.C., Peet R.K. & Veblen T.T. (1992). *Plant succession. Theory and prediction*, London-Glasgow-New York-Tokyo-Melbourne-Madras, Chapman & Hall, 352 p.
- Glenn-Lewin D.C. & Van der Maarel E. (1992). « Patterns and processes of vegetation dynamics », in Glenn-Lewin et al. (1992) : pp. 11-59.
- Gnahoua G.M. (1998). *Analyse phyto-écologique de la flore adventices des cultures post-jachères améliorées en région de forêt semi-décidue de Côte-d'Ivoire*, D.E.A., univers. Aix-Marseille-III, 34 p.
- Grime J.P. (1979). *Plant Strategies and Vegetation processes*, New York-Brisbane-Toronto, Wiley & Sons-Chichester, 222 p.
- Grouzis M. (1988). *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso)*, Paris, I.R.D., 336 p. (coll. *Études et thèses*).
- Grubb (1977). « The maintenance of species-richness in plant communities : the importance of the regeneration niche », *Biol. Rev.*, n° 52 : pp. 107-145.
- Guelly K.A. (1993). « Les jachères de savane sur le plateau Akposso au sud-ouest du Togo », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 367-375.
- Guelly K.A. (1994). *Les savanes des plateaux de la zone forestière subhumide du Togo*, th. botanique tropicale, univers. Paris-VI, 164 p.
- Guelly K.A., Roussel B. & Guyot M. (1993). « Installation d'un couvert forestier dans les jachères de savane au sud-ouest Togo », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 235 : pp. 37-43.

- Guelly K.A., Puig H., Woegan Y. & Kokou K. (2000). « Les formations à Harungana madagascariensis Lam. ex Poir. (Guttiferae) dans les jachères du plateau Akposso au Togo », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 400-407.
- Guillaumet J.-L. (1967). *Recherches sur la végétation et la flore de la région du Bas-Cavally (Côte-d'Ivoire)*, Paris, Orstom, 249 p. (coll. *Mémoire Orstom*, n° 20).
- Guillaumet J.-L. (1978). « Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), I, Présentation », *Cahiers Orstom, série Biologie*, vol. XIII, n° 3 : pp. 189-190.
- Hall J.B. & Okali D.U.U. (1979). « A structural and floristic analysis of woody fallow vegetation near Ibadan, Nigeria », *Journal of Ecology*, n° 67 : pp. 321-346.
- Harper J.L. (1977). *Population biology in plants*, London-New York-San Francisco, Academic Press, 892 p.
- Hien M. (1996). *La reconstitution postculturelle de la végétation en savane soudanienne dans la région de Bondoukuy (Burkina Faso). Les jachères de moins de six ans : flore, persistance des adventices, lien avec le milieu et son utilisation*, D.E.A. sciences biologiques appliquées, option biologie et écologie végétales, faculté des sciences et techniques, univers. de Ouagadougou, Laboratoire de botanique et biologie végétale-Orstom, 95 p.
- Hiernaux P. (1975). *Étude phytocéologique du pays baoulé méridional (Côte-d'Ivoire centrale)*, th. ingén., C.N.R.S., Montpellier, 276 p.
- Hiernaux P. (1983). *Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali*, vol. I, *Les pâturages de la zone d'étude*, Addis Abeba-Sevare, Cipea-Odem, 133 p.
- Horn H.S. (1974). « The ecology of secondary succession », *Annual. Rev. Ecol. Syst.*, n° 5 : pp. 25-37.
- Hutchinson G.E. (1957). « Concluding remarks », *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, n° 22 : pp. 415-427.
- Jaffré T. & de Namur Ch. (1983). « Évolution de la biomasse végétale épigée au cours de la succession secondaire dans le Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire », *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum*, n° 4 : pp. 259-272.
- Kaïré M. (1999). *La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme au Sénégal*, th. doct., univers. Aix-Marseille-I, 141 p.
- Kahn Fr. (1978-a). « Évolution structurale du peuplement de *Macaranga hurifolia*. In : Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire) », *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, XIII : pp. 223-238.
- Kahn Fr. (1978-b). « Occupation spatiale du sol par les peuplements de *Macaranga hurifolia* : Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire) », *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, XIII : pp. 238-254.
- Kahn Fr. (1982). *La reconstitution de la forêt tropicale humide, sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire*, Paris, Orstom, 91 p. (coll. *Mémoire Orstom*, n° 97).
- Keever C. (1950). « Causes of succession on old fields of the Piedmont, North Carolina », *Ecological Monographs*, n° 49 : pp. 98-108.
- Kiema S. (1992). *Utilisation pastorale des jachères dans la région de Bondoukuy (zone soudanienne, Burkina Faso)*, mém. D.E.S.S. Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales, Orstom-univers. Paris-XII Val-de-Marne, 99 p.
- Koita B. (1998). *Végétation postculturelle en zone soudanienne du Sénégal*, th. doct., univers. de Corse, faculté des sciences, 169 p.
- Koita B. & Bodian A. (2000). « Évolution de la diversité végétale avec le temps de jachère dans la zone soudanienne du Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 408-414.
- Lamotte M. (éd.) (1998). *Le Mont Nimba. Réserve de la Biosphère et site du patrimoine mondial (Guinée et Côte-d'Ivoire). Initiation à la géomorphologie et à la biogéographie*, Paris, Unesco, 153 p.
- Le Bourgeois Th. (1993). *Les mauvaises herbes dans la rotation cotonnière au nord-Cameroun (Afrique). Amplitude d'habitat et degré d'infestation. Phénologie*, th., univers. de Montpellier, évolution et écologie, spécialité physiologie biologie des organismes et des populations, 249 p.
- Le Mire Pêcheux L., Fournier A. & Dugast S. (2000). « *Andropogon gayanus* et artificialisation (savane soudanienne) », in Gillon, Chaboud, Boutrais & Mullon.
- Lepart J. & Escarré J. (1983). « La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique », *Bull. Soc. Écologie*, vol. XIV, n° 3 : pp. 133-178.

- Ludwig D., Walker B. & Holling C.S. (1997). Sustainability, stability, and resilience. *Conservation Ecology* [online] 1(1) : 7. <http://www.cnsacol.org/vol1/iss1/art7.>, 24 p.
- McCook L.J. (1994). « Understanding ecological community succession : causal models and theories, a review », *Vegetatio*, n° 110 : pp. 115-147.
- Malam Issa O. (1999). *Étude du rôle des croûtes microbiotiques dans les sols de deux écosystèmes sahéliens (jachères et brousse tigrée) au Niger : micromorphologie, propriétés physiques et bio-géochimiques*, th. doct. univers. Orléans, Sciences de l'Univers, 276 p.
- Mangenot G. (1955). « Études sur les forêts des plaines et plateaux de la Côte d'Ivoire », *Études éburnéennes*, Ifan, n° 4 : pp. 5-61.
- Menaut J.-C. (1977). *Evolution of plots protected from fire since 13 years in a Guinea savanna of Ivory Coast*, Actas del IV symposium internacional de ecologia tropical, Panama, 2 : pp. 541-558.
- Millet J., Bouchard A. & Edelin C. (1998). « Plant succession and tree architecture : An attempt at Reconciling Two Scales of Analysis of Vegetation Dynamics », *Acta Biotheoretica*, n° 46 : pp. 1-22.
- Mitja D. (1992). *Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte-d'Ivoire (Booro-Borotou, Touba)*, Paris, Orstom, 270 p. (coll. *Études et thèses*).
- Mitja D. & Valentin Ch. (1990). « La couverture végétale : interactions avec la couverture pédologique et les réorganisations superficielles », Synthèse du programme Hyperbav, *Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*, Paris, Orstom : pp. 69-90 (coll. *Études et thèses*).
- Mitja D. & Puig H. (1993). « Essartage, culture itinérante et reconstitution de la végétation dans les jachères en savane humide de Côte-d'Ivoire (Booro-Borotou, Touba) », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 377-391.
- Mitja D. & Hladik A. (1989). « Aspects de la reconstitution de la végétation dans deux jachères en zone forestière africaine humide (Makokou, Gabon) », *Acta Oecologica, Oecologia Generalis*, vol. X, n° 1 : pp. 75-94.
- Mondjannagni A. (1969). *Contribution à l'étude des rapports entre l'Homme et les formations végétales tropicales. L'exemple de l'Ouest Africain, du Golfe de Guinée au fleuve Niger*, th., univers. Paris-VII, 2 vol., 548 p.
- Namur Ch. de (1978). « Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire). Quelques caractéristiques du développement d'un peuplement ligneux au cours d'une succession secondaire », *Cah. Orstom, sér. Biol.*, vol. XIII, n° 3 : pp. 211-221.
- Onana J. (1995). *Les savanes soudano-sahéliennes du Cameroun : analyse phytoécologique et utilisation pastorale*, th. univers. Rennes-I, sciences biologiques, écologie, 155 p.
- O'Neill R.V., DeAngelis D.L., Waide J.B. & Allen T.F.H. (1986). *A hierarchical concept of ecosystems. Monographs in population biology*, 23, Princeton (New Jersey), Princeton University Press, 254 p.
- Ouadba J.M. (1993). « Note sur les caractéristiques de la végétation ligneuse et herbacée d'une jachère protégée en zone soudanienne dégradée », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 331-340.
- Ouédraogo J. (1985). *Contribution à l'étude du dynamisme des formations naturelles naturelles au Burkina : reconstitution des jachères dans la région de Kaïbo-Niaogho*, mém. ingén. techniques du développement rural, I.D.R.-Orstom, université de Ouagadougou, 61 p.
- Ouédraogo M. (1993). *Écologie comparée de deux espèces graminéennes pérennes Andropogon ascinodis C.B. Cl. et Schizachyrium sanguineum (Retz.) Alston dans la région de Bondoukuy*, mém. ingén., option élevage, Ouagadougou, Institut du développement rural (I.D.R.)-Orstom, 125 p.
- Paradis G. (1975). « Physionomie, composition floristique et dynamisme des formations végétales d'une partie de la basse vallée de l'Ouémé (Dahomey) », *Ann. Univ. Abidjan, C.*, 11 : pp. 65-101.
- Paradis G. & Hounnon P. (1977). « La végétation de l'aire classée de la Lama dans la mosaïque forêt-savane du Sud-Bénin (ex Sud-Dahomey) », *Bull. Muséum national d'histoire naturelle, série botanique*, vol. XXXIV, n° 503 : pp. 169-197.
- Paradis G., de Souza S. & Hounnon P. (1978). « Les stations à *Lophira lanceolata* dans la mosaïque forêt-savane du Sud-Bénin (ex Sud-Dahomey) », *Bull. Muséum national d'histoire naturelle, série botanique*, vol. XXXV, n° 521 : pp. 39-58.
- Pickett S.T.A., Collins S.L. & Armesto J.J. (1987-a). « Models, mechanisms and pathways of succession », *Bot. Rev.*, n° 53 : pp. 335-371.

- Pickett S.T.A., Collins S.L. & Armesto J.J. (1987-b). « A hierarchical consideration of cause and mechanisms of succession », *Vegetatio*, n° 69 : pp. 109-114.
- Planchon O. & Mitja D. (1990). « Étude du paysage du bassin. Identification des composantes du milieu », in Équipe Hyperbav (1990) : pp. 91-104.
- Profizi J.P. (1982). « Essai de quantification du dynamisme d'une mosaïque forêt-savane du Sud-Bénin par photo-interprétation », *Ann. Univ. Abidjan*, E, 15 : pp. 95-101.
- Rouw A. de (1991). *Rice, weeds and shifting cultivation in a tropical rain forest*, th., univers. agronomique de Wageningen (Pays-Bas), 292 p.
- Rouw A. de (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.
- Roux M.B. (1996). *Diversité des espèces ligneuses et anthropisation des jachères. Cas de deux terroirs villageois du Mali*, D.E.A., Biologie de l'évolution et écologie, univers. Montpellier-II, 36 p.
- San José J.J. & Farinas M.R. (1991). « Temporal changes in the structure of a Trachypogon savanna protected for 25 years », *Acta Oecologica*, n° 12 : pp. 237-247.
- Sawadogo L. (1996). *Évaluation des potentialités pastorales d'une forêt nord-soudanienne du Burkina Faso. Cas de la forêt de Tiogo*, th. 3^e cycle, sciences biologiques appliquées, biologie et écologie végétales, univers. de Ouagadougou, 143 p. + carte.
- Schnell R. (1950). *La forêt dense. Introduction à l'étude botanique de la région forestière d'Afrique occidentale*, Paris, Lechevallier, 323 p.
- Schnell R. (1952). « Contribution à une étude phytosociologique et phytogéographique de l'Afrique occidentale : les groupements et les unités géobotaniques de la région guinéenne », *Mémoire Institut d'Afrique noire*, n° 18 : pp. 41-236.
- Schnell R. (1998). « Le Mont Nimba, carrefour ouest-africain des flores », in Lamotte (éd., 1998) : pp. 55-76.
- Serpantié G. (1993). « Rôles et significations de la jachère dans les systèmes de production agricole en Afrique de l'Ouest. Problématique de son remplacement », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 55-84.
- Sinsin B. (1996). *Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, production et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalalé au Nord-Bénin*, th. doct. en sciences agronomiques, université libre de Bruxelles, section interfacultaire d'agronomie, 392 p.
- Sinsin B. (2000). « Caractéristiques floristiques et productivité des stades précoce et tardif des jachères soudanaises sur plateau du Nord-Bénin », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 503-514.
- Sinsin B. & Saidou A. (1998). « Impact des feux contrôlés sur la productivité des pâturages naturels des savanes soudano-guinéennes du ranch de l'Okpara au Bénin », *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, n° 1 : pp. 11-30.
- Somé 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, écologie générale, production végétale, 250 p.
- Somé A. & De Blic P. (1967). « Différenciation structurale et distribution de la matière organique, de ses fractions et de leur niveau de minéralisation, dans les jachères : le rôle des espèces clefs de la jachère au Burkina Faso (*Andropogon* spp.) », in Floret & Pontanier (éd., 1967) : pp. 47-60.
- Spichiger R. & Pamard C. (1973). « Recherches sur le contact forêt-savane en Côte-d'Ivoire : étude du recrû forestier sur des parcelles cultivées en lisières d'un îlot forestier dans le sud du pays baoulé », *Candollea*, n° 28 : pp. 21-37.
- Spichiger R. & Lassailly V. (1981). « Recherche sur le contact forêt-savane en Côte-d'Ivoire : note sur l'évolution de la végétation dans la région de Béoumi (Côte-d'Ivoire centrale) », *Candollea*, n° 36 : pp. 145-153.
- Swaine M.D., Hawthorne W.D., Orgle T.K. (1992). « The effects of fire exclusion on savanna vegetation at Kpong, Ghana », *Biotropica*, n° 24 : pp. 166-172.
- Telahigue T., Floret Chr. & Le Floch É. (1987). « Succession post-culturelle en zone aride de Tunisie », *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum*, 8, vol. XXII, n° 1 : pp. 45-58.
- Tilman D. (1982). *Ressource competition and community structure*, Princeton (N.J.), Princeton University Press, 296 p.

- Toutain B. (1979). *Premier ranch collectif de Samorogouan, Haute-Volta, Étude agrostologique*, Maisons-Alfort, Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, *Étude agropastorale*, n° 53, 121 p.+ cartes
- Van der Maarel E. (1993). « Some remarks on disturbance and its relations to diversity and stability », *Journal of Vegetation Science*, n° 4 : pp. 733-736.
- Van der Valk A.G. (1992). « Establishment, colonization and persistence », in Glenn-Lewin *et al.* (éd., 1992) : pp. 60-102.
- van Hulst R. (1992). « From population dynamics to community dynamics : modelling succession as a species replacement process », in Glenn-Lewin *et al.* (éd., 1992) : pp. 188-214.
- Veblen T.T. (1992). « Regeneration dynamics », in Glenn-Lewin *et al.* (éd., 1992) : pp. 152-187.
- Vuattoux R. (1970). « Observations sur l'évolution des strates arborée et arbustive dans la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire) », *Annales de l'université d'Abidjan*, série E, n° 3 : pp. 285-315.
- Vuattoux R. (1976). « Contribution à l'étude de l'évolution des strates arborée et arbustive dans la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire) », Deuxième note, *Annales de l'université d'Abidjan*, série C, n° 7 : pp. 35-63.
- Walker B.H., Ludwig D., Homming C.S. & Peterman R.M. (1981). « Stability of semi-arid savanna grazing systems », *Journal of Ecology*, n° 69, pp. 473-498.
- Walker B.H. (1981). « Is succession a viable concept in African savanna ecosystem ? », in West *et al.* (éd., 1981) : pp. 431-503.
- Walker B.H. (1985). *Determinants of tropical savannas*, I.U.B.S. Monographs series n° 3, Oxford-Miami (Florida, É.-U.A.), I.R.L. Press-I.C.S.U. Press, 157 p.
- Walker B.H., Ludwig D., Holling C.S. & Peterman R.M. (1981). « Stability of semi-arid savanna grazing systems », *J. Ecol.*, n° 69 : pp. 473-498.
- West C., Shugart H. & Botkin D.B. (1981). *Forest succession concepts and application*, New York, Springer Verlag, 517 p. + 112 figs.
- Westoby (M.), 1980. « Elements of a theory of vegetation dynamics in arid rangelands », *Israel Journal of Botany*, n° 28 : pp. 109-194.
- Whittaker R.H. (1972). « Evolution and measurement of species diversity », *Taxon*, n° 21 : pp. 213-251.
- White F. (1986). *La végétation de l'Afrique*, Paris, Orstom-Unesco, 384 p.
- Yangakola J.M. (1997). *Essai d'évaluation de l'évolution de la biodiversité végétale en liaison avec l'utilisation humaine des sols et des ressources végétales dans la région de Bondoukuy, ouest du Burkina Faso*, D.E.A. sciences biologiques appliquées, option biologie et écologie végétales, faculté des sciences et techniques, université de Ouagadougou, Laboratoire de botanique et biologie végétale-I.R.D., 105 p., 1 carte.
- Yoni M. (1997). *Les jachères à Andropogon gayanus en savane soudanienne. Influence du sol et des pratiques culturales (cas de Bondoukuy, Burkina Faso)*, D.E.A. sciences biologiques appliquées, option biologie et écologie végétales, faculté des sciences et techniques, université de Ouagadougou, Laboratoire de botanique et biologie végétale-I.R.D., 125 p.
- Yossi H. (1996). *Dynamique de la végétation post-culturelle en zone soudanienne au Mali*, th. doct., population environnement, Isfra, université de Bamako, 154 p.
- Yossi H. & Dembele F. (1993). « Dynamique de la végétation postculturelle en zone soudanienne au Mali. Évolution de la composition floristique et de la strate ligneuse », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 341-350.
- Yossi H., Dembele F. & Karembe M. (1998). « Dynamique de la végétation ligneuse post-culturelle en zone soudanienne du Mali », in C.C.E. (1998) : pp. 63-70.
- Zoungrana I. (1991). *Recherches sur les aires pâturées du Burkina Faso*, th. doct. État, sciences naturelles, univers. Bordeaux-III, 277 p.
- Zoungrana I. (1993). « Les jachères nord-soudanaises du Burkina Faso. I Diversité, stabilité et évolution des communautés végétales. II Analyse de la reconstitution de la végétation herbacée », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 351-366.

Les productions des jachères africaines à climat soudanien

(Bois et produits divers)

Daniel-Yves Alexandre*, Maguette Kaïré**

Le raccourcissement progressif du temps de jachère, qui accompagne l'intensification de l'agriculture, ne traduit pas un progrès pour le paysan, mais bien une nécessité due au manque de terre, soit que la population ait crû, soit qu'elle ait été confinée dans un espace restreint par la crainte d'agresseurs. Ces situations, dites opidiées, ont donné naissance à des agricultures raffinées, telles que celle des Kabyés au Togo ou celle des montagnards des monts Mandara au Nord du Cameroun. C'est un choix contraint. En effet, l'intensification se traduit par une augmentation de la quantité de travail nécessaire pour assurer la subsistance. C'est en gros le modèle, assez généralement admis, de Boserup (1970). Dans ce modèle, on s'accorde à considérer que l'agriculture évolue avec l'augmentation de la densité démographique, selon une série de phases discrètes, telles que celles décrites dans le tableau I.

Tableau I. Les différents stades de l'agriculture, inspiré de Boserup (1970).

Stades		Productions indirectes de l'agrosystème disparaissant avec l'intensification	
Agriculture autarcique	Agriculture avec intrants (non durable)	Générales	Spécifiques
1 Chasse-cueillette			
2 Agriculture à longues jachères		Ouverture du couvert	
3 Agriculture à courtes jachères		Suppression des adventices	Pépinière de karité
4 Culture continue	4' Emploi de main-d'œuvre servile	Entretien physico-chimique du sol	Pépinière de faidherbia
5 Cultures multicycles	5' Culture avec énergie fossile, abusant des transports et de biocides	Stades jeunes des cultures	

* Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), IRD, BP 2528, Bamako Mali.

** Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Direction des Recherches sur les Productions Forestières (DRPF), BP 2312, Dakar.

Les passages ou transitions qui nous intéressent dans le contexte soudanien du programme Jachère, sont ceux du stade 2 au stade 3, de la longue jachère à la courte jachère, et du stade 3 au stade 4, de la courte jachère à la culture continue. Le cultivateur devra produire, sur ses champs ou dans son exploitation, ce qui était produit « gratuitement », sans travail, par la jachère. À moins qu'il ne s'en passe ou qu'il puisse l'acheter à l'extérieur, ce qui suppose des disponibilités financières. Ce modèle est résumé dans la figure 1.

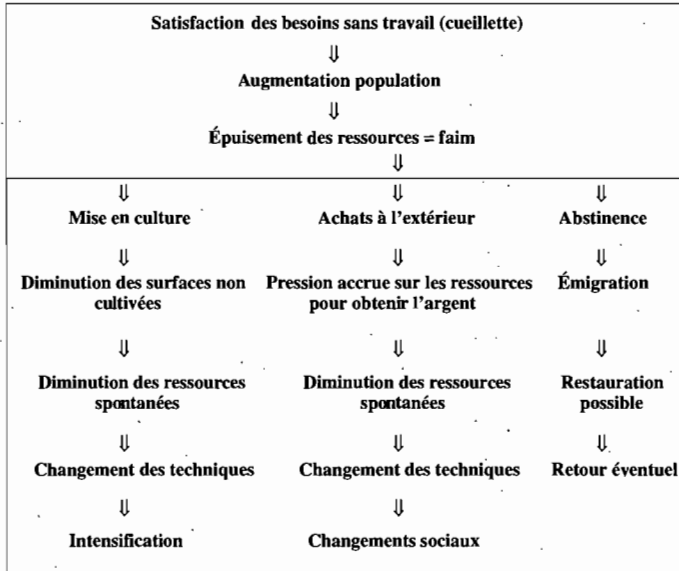


Figure 1. Modèle d'évolution de l'agriculture d'après Boserup (1970).

Par productions, il faut entendre à la fois les *produits* directs tels que le fourrage et les produits indirects qui peuvent être d'ordre écologique. Si la jachère disparaît, l'homme devra se substituer à la nature pour faire fonctionner le système (col. 3 et 4 du tabl. I), ce qu'on range souvent dans la catégorie *effets*, ou encore d'ordre immatériel, comme le plaisir de vivre selon le mode de vie des ancêtres, ce qu'on range dans la catégorie *fonctions*. S'il y a perte d'un produit social, il ne peut généralement pas être compensé.

La substitution par achat suppose une production supplémentaire soit du champ, soit de la jachère. L'institution d'échange permet, ou nécessite, de nouer des liens sociaux, permet une spécialisation de la production qui peut aller dans le sens d'un meilleur usage de l'écosystème cultivé ou en jachère, chaque région produisant alors selon ses capacités.

Un point important à considérer, c'est que parmi les productions potentiellement utiles d'un système, seule une fraction plus ou moins grande est utilisée. Le reste est soit perdu, en tant que production « utile », soit entre dans le fonctionnement écologique du système. Ce qui est vendu est exporté et donc totalement perdu pour le fonctionnement du système (figure 1) [Manlay & Ickowicz, 2000]. Retenons pour l'instant qu'on pourra, selon le but poursuivi, considérer ou bien la production totale (potentielle) de la jachère ou bien la production réellement prélevée. C'est une distinction qui est pertinente dans le cas des plantes médicinales (cf. *infra*.: § produits médicinaux).

Dans les systèmes de culture à jachère, il y a en fait non pas une, mais des jachères diverses et qui évoluent chacune dans leur composition, leur structure, leur phénologie, et, partant,

dans leurs productions. D'une manière générale, les jachères jeunes sont plus herbeuses, les jachères vieilles plus ligneuses. Dans le cas d'une toposéquence typique au Burkina Faso, les jachères de bas de pente sont presque toujours herbeuses, les jachères de champ de village herbeuses ou sous-ligneuses. Seules les jachères de champs de brousse peuvent être ligneuses. L'importance des rejets et des semis dépend à la fois du mode de défrichement et de culture pratiqué, du substrat et de la durée de mise en culture. Les trois facteurs sont en fait liés puisque les terres les plus riches et les plus profondes sont cultivées plus longtemps et nécessitent un travail du sol plus important.

On a coutume de faire partir l'âge des jachères de l'abandon cultural. Cette option n'est pas toujours justifiée. En fait, les plantes de la jachère commencent à croître à partir de l'ouverture du couvert et elles évoluent différemment selon que les sarclages ou recépages sont intenses ou discrets. Dans de nombreux cas, les rejets ligneux sont déjà grands lors des récoltes et les mauvaises herbes participent de manière importante à la succession. On serait donc tenté d'assimiler les mauvaises herbes à une sorte de pré-jachère. L'importance des mauvaises herbes dans le maintien de la fertilité et l'équilibre biologique des sols est grande. Mais ce sont aussi d'importants produits de cueillette. Certaines herbes sont récoltées comme « brèdes », par exemple *Corchorus olitorius* consommée fraîche ou séchée, *Cassia obtusifolia*, *Gynandropsis gynandra*, etc. D'autres sont d'importantes plantes médicinales comme *Chrysanthellum americanum* ou *Euphorbia hirta* (cf. infra : § produits médicinaux).

Nous envisagerons successivement les productions directes, en séparant la production de bois (il y a bois et bois : bois en tant que biomasse pour le feu et bois matériau plus qualitatif) des autres productions : herbe, produits divers de cueillette comme les fruits ou les feuilles fourragères, gibier, miel et enfin médicaments, puis les productions indirectes.

Les productions directes

Productions herbacées non fourragères

La production la plus importante des jachères est la biomasse herbacée, éventuellement pâturée et transformée en viande ou en force de travail. Elle peut occasionner un transfert de fertilité interne au système. Étant donné son importance, elle fait l'objet du chapitre 6 (Achard & Banoïn, 2000) et nous n'en traiterons pas ici. Mais la biomasse herbacée présente d'autres intérêts que fourragers.

De même que pour les arbres on parle de produits non ligneux (P.N.L.), pour tout ce qui n'est pas le bois, on peut parler de produits non fourragers (P.N.F.) pour les « produits secondaires » des herbacées. Ainsi, les herbes peuvent fournir des matériaux d'artisanat. Ce sont, par exemple, les chaumes de *Andropogon gayanus* (dans les jachères de 5 à 10 ans) ou de *A. ascinodis* (jachères de plus de 10 ans ; Somé, 1996) qui servent à couvrir les toits et tresser les sécos. Les usages en ce domaine sont locaux. Les jachères jeunes n'en produisent pas, sauf gestion intentionnelle qui amorce le passage à la culture continue (stade 4, cf. Lemire Pecheux *et al.*, 1996). Les bas-fonds peuvent produire le *Vetiveria nigriflora* qui sert à faire des paniers.

La biomasse herbacée, notamment la fraction souterraine de cette biomasse, joue un rôle essentiel dans le maintien ou la reconstitution de la fertilité. Elle contribue à construire la microporosité et à stabiliser la structure pédologique grâce aux exsudats racinaires qui nourrissent la microflore édaphique qui elle-même synthétise des polysaccharides hydroactifs (cf. Somé 1996 et chapitre consacré au rôle des jachères dans le maintien de la fertilité).

Production ligneuse

Après la biomasse herbacée, la production⁽¹⁾ la plus importante des jachères est le bois. Le bois est à la fois la principale source d'énergie et un matériau utilisé de mille façons.

La consommation de bois énergie a été estimée dans divers travaux. Au Mali, Ohler (1985) estime sur des bases bibliographiques antérieures la consommation entre 1 et 1,5 m³/hab./an dont la moitié serait fournie par la production des jachères. Au Niger, Louppe (1991) estime également que le recru des jachères fournit environ la moitié des besoins en bois de feu. Plus récemment au Mali, Bazile (1998) montre que la consommation par habitant diminue dans les familles nombreuses : il ne faut pas beaucoup plus de bois pour chauffer une grande marmite qu'une petite. La consommation est aussi réduite là où le bois commence à manquer. Au total la consommation va de plus de 4 kg/hab./j à moins de 0,5 kg. Le dolo, consommé en principe par les seuls non musulmans, demande une grande quantité de bois pour sa production (Vielajus, 1984).

Si l'on met de côté les arbres rémanents⁽²⁾, qui ne doivent cependant pas être oubliés et qui produisent approximativement autant que la strate ligneuse de la jachère proprement dite (Bazile, 1998), la première vague de ligneux des jachères est fournie par les rejets de souches et de racinés. Les espèces qui rejettent sont nombreuses (Bellefontaine, 1997), mais plus ou moins résistantes à la remise en culture répétée. Les feux influencent négativement la croissance des ligneux. Il en est de même, mais de manière plus complexe, du pâturage. L'herbe favorise la violence du feu, qui, lui, détruit les ligneux. Le pâturage, s'il s'exerce préférentiellement sur les herbacées, peut favoriser les ligneux en faisant basculer les rapports de compétition à leur profit (par exemple Conklin, 1957 ou Bruzon, 1990). Le pâturage herbacé dès lors disparaît. On parle d'embroussaillage dans ce cas. Le feu est un moyen bien connu de lutter contre cet embroussaillage.

Les petits bois, les plus utilisés pour le feu et l'artisanat, sont exploitables à partir de trois ans de jachère. L'exploitation, pourvu qu'elle ne soit pas excessive, maintient une importante production de taillis. On parle de rajeunissement du système. Le mode d'exploitation traditionnelle qui consiste à ne prélever que ce qui est utile à un moment donné et qui s'apparente à un furetage, est également un facteur de maintien de la production⁽³⁾.

L'aspect quantitatif de la production de bois est surtout important quand on s'intéresse aux aspects énergétiques ; mais, pour l'artisanat comme pour le bois de feu, l'aspect qualitatif est aussi à considérer. Chaque espèce a ses propriétés techniques, plus ou moins affectées par les conditions de croissance. Certaines sont souples comme *Grewia* spp. et pourront servir de déclencheur de piège, d'autres résistent aux termites et pourront servir de marqueur de tombe comme *Prosopis africana*, etc. Pour le bois de feu certaines espèces fument, sentent bon ou mauvais, s'allument facilement ou pas, tiennent le feu ou s'éteignent spontanément. Pour les différents usages il faut différents bois, différentes espèces. La biodiversité n'est pas un luxe.

Beaucoup de travaux se sont intéressés à la dynamique successionnelle et ont montré que les semis de beaucoup de ligneux n'apparaissent de manière significative qu'après dix ans de jachère. Mais les bois d'œuvre qu'ils peuvent produire, n'arriveront à exploitabilité qu'après quarante ans, voire beaucoup plus. Les forêts sèches qui peuvent se reconstituer après un temps de jachère de quelques décennies sont certainement très éloignées des forêts sèches originelles.

(1) La littérature, et particulièrement la littérature forestière, fait souvent la confusion entre production et biomasse ou volume sur pied.

(2) Les grands arbres épargnés lors des défrichements constituent le parc agroforestier.

(3) Carbiener (1995) a fait un vivant plaidoyer pour les peuplements jardinés, bien préférables sur bien des plans aux peuplements équiennes.

Certains ligneux adultes sont émondés et peuvent ainsi produire régulièrement des bois de petits diamètres. Il en est ainsi du *Prosopis africana* pour les manches de hache. Le recépage de certaines espèces les conduit à produire des rejets plus droits, utilisables en perches, que l'arbre de plein jet. Par exemple le jujubier (*Ziziphus mauritiana*), le mitragyne (*Mitragyna inermis*), le nimier (*Azadirachta indica*), le gmélina (*Gmelina arborea*)... Les arbres fourragers (principalement *Pterocarpus erinaceus* (le vène), *Khaya senegalensis* et *Azelia africana*), sont régulièrement émondés pour nourrir les animaux. Les émondés du vène font l'objet d'un important commerce dans certains marchés comme celui de Bamako.

Selon les modes d'exploitation : arbres libres en peuplements denses (forêts) ou dispersés (parcs), arbres recépés, émondés (baobab), élagués (espèces fourragères), étêtés (nimier), on obtient une forme différente, une production et une phénologie différentes. Ainsi les vènes émondés remettent à feuille plus tôt que les individus non exploités (cf. étude de Petit, 2000). Aucune étude ne donne actuellement de moyen d'estimer valablement la production foliaire des arbres fourragers isolés. En peuplement dense, la limite théorique de production foliaire est imposée par la disponibilité de l'énergie lumineuse solaire à une valeur d'indice foliaire de l'ordre de six, soit environ six tonnes par hectare et par an dans les conditions optimales de sol et d'alimentation en eau⁽⁴⁾. Autant dire que cette valeur ne peut être approchée que de loin en zone soudanienne. La part de feuilles dans la biomasse totale, de même que celle des rameaux ou des racines, est importante dans les recrus jeunes et diminue régulièrement avec l'âge des peuplements et l'accroissement de la biomasse, seule la part du bois augmente (Ewel, 1971 ; Berish, 1982). Ainsi, Diao (1995), en Haute-Casamance, estime que le rapport partie souterraine/partie aérienne passe de 1,25, à un an, à 0,67, à quinze ans de jachère. Beaucoup d'espèces exotiques présentent un rapport racines/parties aériennes plus faible que les espèces sahéliennes. Ainsi *Acacia holosericea* a un pourcentage de racines relativement faible (Diatla *et al.*, 2000). La figure 2, d'après Kairé (1999), illustre la baisse de la part des rameaux dans la biomasse totale en fonction de la taille de l'individu.

La production de bois en zone soudanienne est un sujet « sensible » qui occupe une très volumineuse littérature. Elle touche au problème de la « désertification » et à la « crise du

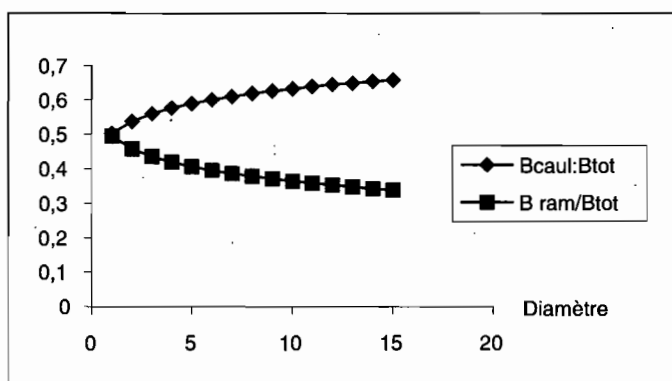


Figure 2. Rapport des rameaux et des tiges dans la biomasse ligneuse (en abscisse le diamètre des tiges) d'après Kairé (1999).

(4) Dans le modèle de Shinozaki *et al.* (1964), cité par Kira & Shidei (1967), la biomasse de feuilles est proportionnelle au diamètre sous la plus basse branche. Poupon (1977) trouve des relations linéaires entre la circonférence et la surface de feuilles de *Commiphora africana* au Sénégal, mais ces relations ne sont pas stables d'une année à l'autre.

bois de feu» qui fut une véritable mode au début des années soixante-dix. Le déboisement autour des grandes villes a été le cheval de bataille de nombreuses organisations non gouvernementales, projets nationaux ou internationaux à une époque où on parlait beaucoup d'arrêter l'avancée du désert en créant des barrières vertes autour des villes. Cette mode a largement été démontée depuis (Bonfils, 1987 ; Sow, 1990 ; Buttoud, 1995 ; Bazile, 1997 et 1998 ; Anonyme, 1998 ; etc.). Les résultats récents, présentés dans le tome 1 (Bazile ainsi que Nouvellet *et al.*, pour le Mali ; Montagne & Housseini, pour le Niger ; Kaïré & Dione ainsi que Diatta *et al.*, pour le Sénégal ; in Floret & Pontanier, 2000), malgré leur disparité, reflètent des conditions de terrain, montrent dans leur ensemble une production plus importante que ce qui était souvent admis. Il n'en reste pas moins que quand la pression sur la ressource ligneuse augmente elle finit par entamer le capital producteur ce qui amorce un cercle vicieux (rétroaction positive). Ceci a plus de chance de se produire là où la population est concentrée, c'est-à-dire autour des villes. Bazile (1998) pour le Mali, ainsi que Kaïre (1999) pour le Sénégal ont entrepris de modéliser ce bilan des productions et consommations en y intégrant l'accroissement des populations. Plusieurs études du CIRAD ont envisagé l'approvisionnement en bois de feu des grandes villes sahéliennes (cf. Montagne et Besse, 1998). La part importante du bois de feu dans la consommation des ménages urbains s'explique en partie par son coût qui reste attractif : deux à trois fois moins cher que le gaz (Bazile, 1998). Le commerce du bois de feu peut représenter une véritable opportunité pour les paysans des zones encore boisées. Bazile (*op. cit.*) estime ainsi que le revenu « bois » des paysans de Gouani va de 50 000 à plus d'un million, selon que son commerce est une activité marginale ou principale.

Nous présentons ci-dessous quelques résultats concernant les volumes et les biomasses puis ceux concernant les productions. Compte tenu des nombreux problèmes techniques rencontrés dans les mesures, nous joignons en annexe quelques remarques pour traiter des problèmes dendrométriques (annexe).

Volumes et biomasses

La figure 3 illustre la distribution des valeurs de biomasse en fonction du diamètre du tronc. Cette distribution en forme de trompette, dite aussi en queue de comète, est constante et extrêmement caractéristique. La variabilité de la variable dépendante (biomasse) croît en même temps que la variable primaire (diamètre ou circonférence). Cela est encore plus visible sur la figure 4 montrant les résidus de l'ajustement. Il faut bien savoir que les tests statistiques classiques ne s'appliquent pas à ce type de distribution. Dans l'exemple choisi, on constate une double tendance (dépendance) : d'une part l'augmentation de la variabilité de la biomasse en fonction du diamètre qui est générale, d'autre part une courbure qui traduit le mauvais choix de la fonction de corrélation (ici une loi binomiale au lieu de la fonction allométrique).

Nous avons réuni (tableau II) quelques-uns des nombreux tarifs de cubage ou de biomasse qui ont été établis dans le cadre du programme Jachère ou qui pouvaient présenter un intérêt de comparaison. La figure 5 illustre quatre tarifs obtenus dans le cadre du programme Jachère. Les régressions obtenues par Kaïré (1999), au Sénégal, et par Nouvellet (1992), au Burkina Faso, sont pratiquement identiques. La courbe supérieure obtenue par Neya (C.N.R.S.T., 1998), au Burkina Faso, s'explique par le fait que ce sont des poids frais qui sont mesurés. La courbe la plus basse, obtenue par Bazile (1998), au Mali, concerne des tiges écourtées, d'environ deux mètres, telles qu'elles sont utilisées comme bois de feu.

La biomasse d'une parcelle se calcule à partir de la somme des estimations individuelles, espèce par espèce, déduites des mesures de diamètre ou de circonférence (et éventuellement de hauteur). Il existe des formules rapides d'estimation directement à l'hectare qui peuvent rendre service quand on ne cherche qu'un ordre de grandeur. Nous en donnons deux sur le

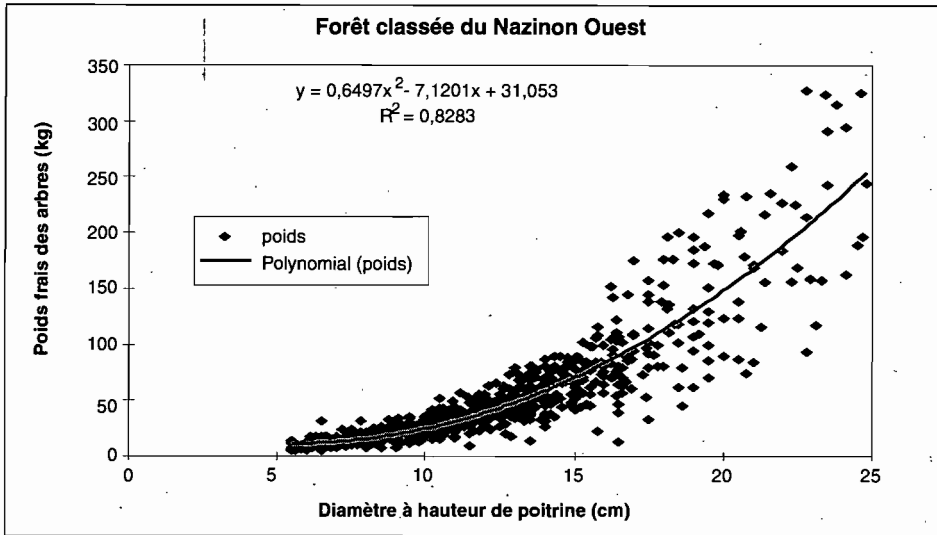


Figure 3. Courbe de régression diamètre / biomasse fraîche en forêt classée du Nazinon d'après NÉYA (CNRST, 1998).

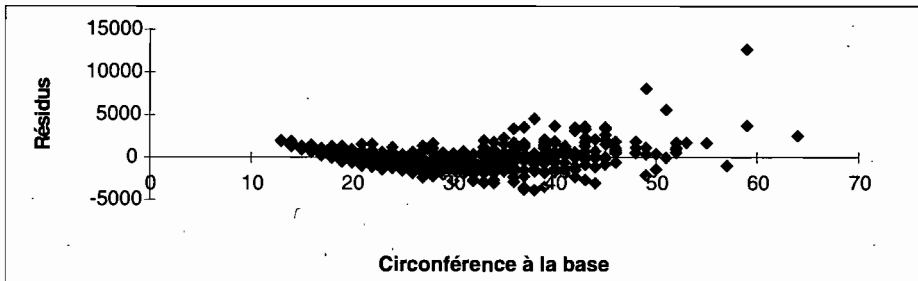


Figure 4. Résidus d'ajustement, exemple extrait de Nouvellet *et al.*(2000).

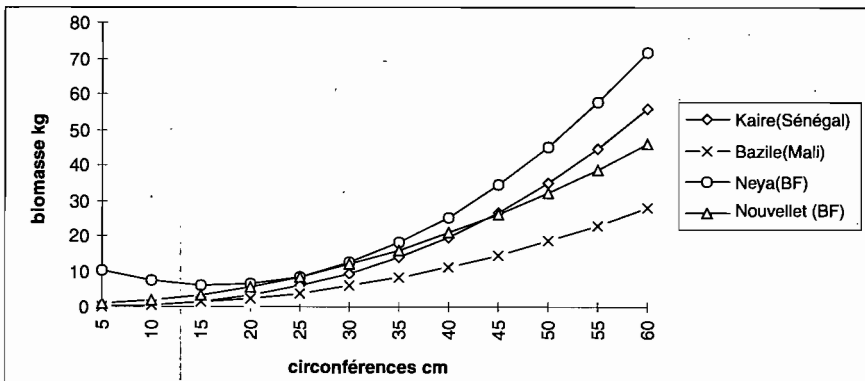


Figure 5. Quelques tarifs de biomasse obtenus en zone soudanienne (Kairé, 1999 ; Bazile 1998 ; Neya in CNRST, 1998 ; Nouvellet, 1992). La courbe de Neya a été volontairement prolongée à gauche au-delà de ses limites de validité.

Tableau II. Tarifs individuels de volume ou de biomasse. D et C en cm, H en m, B en kg et V en m³. Sauf indication contraire C et D sont pris à 1,30 m.

Auteur	Lieu	Pluie (mm)	Nature du peuplement	Régression volume ou biomasse	Remarque
Bazile (1998)	Mali	950	<i>Combretum glutinosum</i>	$B = 2,8 \cdot 10^{-3} X^{2,3}$ (soit $36,3 \cdot 10^{-3} D^{2,3}$) X circonférence au gros bout en cm	Donne une valeur faible. Il s'agit du poids de tiges de 2 m, sèches à l'air
id	id		Toutes espèces C. de 6 à 36 cm	$B = 1,8 C^{2,5}$ (ou $31,5 D^{2,5}$)	idem
Bernhard-Reversat et al. (1993)	Congo	1 200	<i>A. mangium</i>	$B = 3,57 \cdot 10^{-4} \cdot C^3 + 19,2$ soit $1,1 \cdot 10^{-2} D^3 + 19,2$	Noter le cube pris comme valeur a priori.
id	id	id	<i>A. auriculiformis</i>	$B = 4,16 \cdot 10^{-4} \cdot C^3 + 11,2$ soit $1,3 \cdot 10^{-2} D^3 + 11,2$	
C.T.F.T. (1988) in Devineau (1997)				$V = -0,033 + 0,16 C + 0,5 C^3$	Unités non précisées
CNRST 1998	Burkina	1 000	Bois vert	$B = 30 - 7 D + 0,7 D^2$	Limites de validité 5 à 25 cm de diamètre
Diallo 1995	Sénégal	1 000	<i>Guiera</i> (étendue 1-7 cm)	$B = 0,39 D^{1,6}$	Coefficient forcément faux
Eshete & Stahl (1997)	Ethiopie	700	Savane à acacias	$\log B = -2,26 + 2,4 \cdot \log D_{0,8}$	
Kaire (1998)	Sénégal	1 000	Ttes esp. biomasse caulinare	$B = 0,029 D_0^{2,7}$	Avec $D_0 = 1,2 \cdot D_{130}$
id	id	id	Biomasse ligneuse aérienne totale	$B = 0,057 D_0^{2,57}$	
id	id	1 200	<i>Comb. glutinosum</i>	$B = -0,8171 \cdot (1 - \exp(0,37 \cdot D))$	Choix de forme inapproprié
Kouyate (1995)			<i>Combretum ghasalense</i>	$V = 0,23 / (1 + 95 \cdot \exp(-29 \cdot D))$	Choix de forme inapproprié
Lacoste (1990)	Guyane	3 000	Goupi	$B_{tige} = 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot C^{2,4}$ (ou $2,3 \cdot 10^{-3} D^{2,4}$)	
Lescure et al. (1983)	Guyane	3 000	Toutes espèces	$B = 0,06 \cdot D^{2,7}$	
Renes (1991)	Burkina	800	Savane à <i>Combretum</i> et <i>A. macrostachya</i>	$V = 3,6 \cdot 10^{-3} D - 13$ $V = 3,4 \cdot 10^{-3} D + 1,7 H - 18$	r^2 très mauvais, Choix de forme inapproprié

tableau III. L'estimation cépée par cépée, est également parfois intéressante (Cabanettes, 1989).

Productions

Au cours du temps, les ligneux accumulent une biomasse structurale morte qui leur permet de porter leur organes assimilateurs aériens de plus en plus haut. Les organes assimilateurs que sont les feuilles sont renouvelés plus ou moins rapidement selon l'espèce. Chez les espèces décidues, leur durée de vie est inférieure à l'année. Les rameaux qui portent les

Tableau III. Formules d'estimation rapide de la biomasse de peuplements.

Morel, Mali (cité par Clément, in F.A.O. 1984), la pluie est la variable	$V = 5.P.G$
Morel, Mali (cité par Yossi), la pluie est la variable	$V = 10.P.G$
Chiba (1998)	$B = k. d. G$
Vooren (comm. pers.)	$B = 10. H_D$
Alexandre (en préparation)	$B = k. d. G$
V en m ³ , P (pluviométrie) en m.	

Tableau IV. Production de quelques recrus.

Auteur, lieu et pluie	Nature peuplement	Production
Achard 1996 Sahel Niger	Recru à <i>Guiera</i>	637 kg de bois vert (environ 300 kg PS)
Bernhard <i>et al.</i> 1993 Congo 1 200 mm	Plantation d'acacias australiens	14 à 16 t/ha/an
Clément 1983	La pluie est la variable, P de 500 à 1600	$i = 0,05 + 1,08 P^2$ P en m et i en m ³ /ha/an
Depommier 1987 Centrafrique approx 800 mm		Entre 1 et 2 m ³ /ha/an
Devineau J-L. 1997 Burkina Faso 1000 mm	Parc et vieilles jachères	3 à 3,5 % de 11 à 36 m ³ soit 0,3 à 0,7 m ³ /ha/an
Diatta 1994 Sénégal 700-800 mm	Parcelle en défens	4,8 à 9,1 t/ha/4 ans soit 1,2 à 2,3 pour le faciès à Combretum
Louppe 1991 Niger 300 mm	<i>Guiera</i> 8 mois	224 kg (soit 300 kg par an) de petit bois et 391 de feuilles (+/- 50 %)
Mato Housseni Niger	Jachères de 2-5 ans	3,7 t/ha/an de petit bois et 1 t de bois >2 cm de diam.
	Moyennes 6 à 8 ans	2 t de petit bois et 0,9 t de gros bois
	Longues 20 à 30 ans.	2,8 t de petit bois et 4 t de gros bois
Nouvellet 1992 800 mm Burkina Faso	Ensemble des combretacées	$i = 0,44 + 0,2 * g$
	Ensemble des acacias	$i = 1 + 0,13 * g$
Poupon 1977 Sénégal 300mm	Savane à <i>Commiphora</i>	$i = 0,42 \text{ t/ha/an}$
Rodin et Bazilevich 1968	« savane »	$i = 0,5 \text{ t/ha/an}$
Sylla cité par Bazile 1998 Mali	P et R = variables	$i = 0,3699 e^{3,1652 P * R^2}$ avec i productivité en m ³ /ha/an P pluviométrie en m et R recouvrement en %

feuilles ne vivent pas beaucoup plus longtemps qu'elles. Ils tombent au sol dès qu'ils ont terminé de jouer leur rôle et constituent la litière grossière. Finalement, l'accroissement de biomasse qui est la production nette apparente du ligneux ne représente qu'une faible part de la production totale (environ la moitié, cf. *infra*).

La mesure de cette production est finalement la seule qui soit vraiment utile pour l'écologiste, mais c'est aussi la plus complexe. Le tableau IV réunit quelques résultats obtenus au cours du programme Jachère ou cités dans la littérature.

Clément (1983), à partir des données de la littérature, jugées par lui les plus fiables, établit une corrélation entre la production en volume et la pluviométrie (valable entre 500 et 1 600 mm) :

$$i = 0,05 + 1,08 P^2$$

où i est la production en mètres cubes par hectare et par an et P la pluviométrie en mètres⁽⁵⁾. Cette équation présente l'inconvénient d'être positive pour $P = 0$ (en dehors des limites données). L'équation puissance $i = 1,2 P^{2,1}$ ne présente pas cet inconvénient de l'équation binomiale.

Clément estime la production potentielle de vingt-cinq pour cent supérieure à celles indiquées par les auteurs, ce qui donne :

$$i_{\max} = 0,0137 P^2 + 0,0782 P + 0,1933$$

À partir des mêmes données, si l'on considère que tous les points sont également valables et que, de plus, on admet une relation linéaire (figure 6), on obtient la relation :

$$i = 2,5 P - 1,25$$

Cette équation indique une production nulle pour une pluviométrie de cinq cent millimètres, ce qui est un peu pessimiste mais correspond assez bien à la limite en dessous de laquelle on ne peut plus espérer réussir une quelconque plantation productive.

On notera que le coefficient 1,25 utilisé par Clément pour calculer la production maximale, peut bien correspondre au surcroît de production due à l'absence de pâturage, mais pas du tout à une évolution de la végétation jusqu'à la forêt climacique qui serait marquée, entre autres, par la fermeture du couvert et la disparition des herbacées.

La corrélation entre pluviométrie et croissance a de bonnes bases écologiques. On admet en effet que la croissance des arbres est, pour un sol donné, étroitement corrélée à la longueur de la saison de croissance, qui elle-même est en relation avec la hauteur de pluie, mais de manière plus lâche. On peut estimer que la végétation transpire en moyenne cent cinquante millimètres d'eau par mois et que la longueur de la saison de végétation est donc égale à $P/150$ si la pluie est bien répartie. Dans le cas de pluies très irrégulières, on comptera plutôt $P/200$ et au contraire cent millimètres si la pluie est régulière et qu'il n'y a pas d'effet d'advection, c'est-à-dire que la zone est entièrement boisée⁽⁶⁾. Bien sûr, on ne peut dépasser douze mois de croissance par an. La variable pluie pourrait donc s'exprimer en mois ou en pourcentage de temps de croissance. On estimera alors la production d'une zone semi-aride à partir des données largement disponibles pour la forêt dense. Pour cette dernière, on peut admettre une production annuelle, sur sols pauvres, de sept tonnes par hectare et par an soit un peu plus de 0,5 tonne par mois. On a ainsi pour la zone sud-soudanienne avec mille à mille deux cents millimètres de pluviométrie, une saison de croissance de cinq à six mois et une production potentielle, sur sols pauvres, de 2,5 à 4,7 tonnes par hectare et par an.

Une autre façon d'aborder le problème de la production ligneuse maximale est de considérer qu'une végétation ligneuse produit autant qu'une végétation herbacée et que la moitié de la production totale est immobilisée dans le bois (production apparente). L'intérêt du raisonnement est que les mesures de biomasses herbacées sont beaucoup plus simples à effectuer que les mesures de biomasse ligneuse. Fournier *et al.* (1982) donnent ainsi une

(5) Les principaux symboles utilisés sont (cf. Pardé et Bouchon, 1988) :

A = âge (an) ; B = biomasse ($t\ ha^{-1}$) ; c = circonférence (cm) ; d = diamètre (cm) ; e = épaisseur d'écorce (cm) ; f = coefficient de forme ; g = surface terrière (m^2) ; h = hauteur (m) ; i = accroissement ; k = coefficient de décroissance ; l = longueur (m) ; n = nombre ; p = taux ; t = durée (an) ; v = volume (m^3).

Ces symboles sont valables pour l'ensemble de ce chapitre.

(6) L'indice de Aubréville (1949) peut être utilisé. Rappelons que pour Aubréville un mois peut être considéré comme semi-aride avec une pluviométrie moyenne comprise entre 40 et 100 mm et humide pour plus de 100 mm.

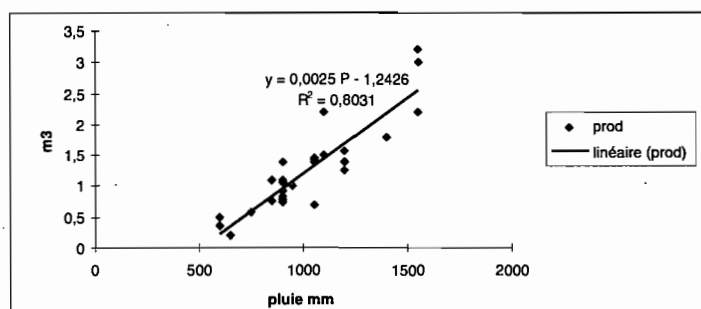


Figure 6. Production en volume en fonction de la pluviométrie recalculée à partir des données de Clément (1983). La régression linéaire est meilleure que la régression binomiale et a un sens biologique plus évident.

production herbacée maximale de cinq à six tonnes pour la région de Nazinga au Burkina. On pourra alors estimer que la production ligneuse potentielle pour cette zone qui reçoit mille cent millimètres de pluie, y est de 2,5 à 3 tonnes par hectare. Une étude du Cipéa (Wilson *et al.*, 1983) donne pour la zone nord-soudanienne, des productions herbacées aériennes de mille deux cents à trois mille cinq cents kilogrammes. On peut donc estimer la productivité potentielle ligneuse entre six cents et mille sept cent cinquante kilogrammes par hectare et par an pour cette zone. Sur sols riches (absents de notre zone), les chiffres pourraient être bien plus élevés.

Le raisonnement est certes contestable. Il donne des chiffres de production potentielle bien supérieurs à ceux habituellement admis dans la littérature.

Les mesures de biomasse de Kaïré (1999), au Sénégal, donnent des augmentations moyennes de biomasse de 2,15 tonnes par hectare et par an pour la zone soudano-sahélienne (700 mm) et de quatre tonnes par hectare et par an pour la zone soudano-guinéenne (1200 mm) [figures 7 et 8]. Diallo (1995) en Basse-Casamance estime la biomasse ligneuse sèche d'une jachère de dix ans à *Guiera* et *Terminalia* à soixante tonnes par hectare, soit un accroissement moyen de six tonnes par hectare et par an. Au Niger, Montagne et Mato (1998) trouvent des productions de 4,7 t/ha/an dans des jeunes jachères et de 6,8 t dans des jachères de plus de 20 ans (cf. tableau IV). Bazile (1998) compare les volumes sur pied et les productions des jachères et d'autres formations (tableau Va) et montre l'évolution des jachères avec l'âge (tableau Vb). L'originalité de son étude est de séparer le peuplement des jachères en deux strates : la strate du recrû sur souche et celle des arbres du parc. À titre de comparaison, au sud de la France, Leonardi & Rapp (1990) estiment la biomasse ligneuse d'un taillis de chêne vert de trois ans à seize tonnes, soit une production de 5,3 tonnes par hectare et par an. Les conditions de croissance sont aussi difficiles qu'en zone soudanienne. Ceci conforte l'idée que les chiffres très faibles souvent avancés dans la littérature sont erronés.

Pour un arbre isolé, partant de graine, mais cela s'applique aussi aux peuplements partant de zéro ou à n'importe quelle population, la croissance obéit généralement à une loi de type sigmoïde (logistique), avec donc trois phases : une phase juvénile exponentielle où les nouvelles feuilles contribuent à en construire de nouvelles, une phase adulte de croissance quasi linéaire et une phase de sénescence où les pertes compensent les gains. En partant de cette optique, Kaïré (1999) a pu ajuster ses données à une loi de Chapman-Richards. Le taux de croissance r est de plus de 4,5 tonnes par hectare et par an pour la Haute-Casamance et une biomasse maximale K dépasse quarante tonnes. Les valeurs sont inférieures de moitié environ pour la zone arachidière (700 mm) (figure 8).

Tableau V-a. Volumes (m³/ha) et productions (m³/ha/an) des jachères de Gouani, d'après Bazile (1998).

Age de la jachère (années)	Strate arbustive « jachère »		Strate arborée « parc »		Total	
	Volume	Prod.	Volume	Prod.	Volume	Prod.
1 à 5	2,9	1,05	23,2	0,25	26,1	1,30
6 à 10	8,2	1	30,3	0,32	38,5	1,31
11 à 20	19,8	1,25	31,1	0,33	50,9	1,59
> 20	22,1	0,85	46	0,51	68,1	1,38

Tableau V-b. Volumes et productions de différentes formations à N'Goukan, d'après Bazile (1998).

	Jachères	Formation dégradées	Parc cultivé	Savane boisée
Volumes	25	4	21 à 46	17 à 70
Productions	0,525	0,219	0,236	0,75

Produits divers de cueillette

Dans ce domaine on peut distinguer, bien que la confusion soit souvent faite, les produits du parc des produits de la jachère proprement dite. La production des arbres du parc se poursuit, il est vrai, au cours de la jachère, pendant longtemps (Serpantié, 1996 a et b). Il s'agit essentiellement des fruits du karité et du néré en zone soudanienne, de ceux du palmier à huile en zone un peu plus humide. La jachère offre des produits spécifiques, issus des plantes qui renaissent après l'abandon (*e. g.* bourgeons d'anone) ou apparaissent de semis (*e.g.* feuilles de *Securidaca longepedunculata*). Certaines plantes très importantes pourraient certainement être favorisées là où elles ne le sont pas encore. Au Bénin, Schreckenberg (1996) montre que l'essentiel des produits de cueillette provient des zones anthropisées, jachères ou parcs, et non des zones sauvages comme une certaine idéologie pourrait le laisser penser.

L'importance des produits de cueillette est bien illustrée par l'étude de Belem *et al.* (1996) au Burkina Faso. Elle rapporte par exemple que sur cent treize espèces utiles, quatre-vingt-onze sont spontanées. La raréfaction de certaines plantes spontanées, comme *Stylochiton hypogeus*, est déplorée par les villageois. En Casamance, au Sénégal, Doyen (1983) estime que les produits de cueillette (il s'agit essentiellement d'espèces agroforestières protégées) rapportent cent mille francs C.F.A. par famille et par an, soit autant que la vente du bois. Dans la même région Ndiour (1996) estime qu'en plus de la part autoconsommée, qui peut être très importante, la vente des fruits, avec un prix au kilogramme de dix à deux cents francs C.F.A., assure un revenu, par famille, variant de quarante-six mille cinq cents à soixante-seize mille cinq cents francs C.F.A. selon le village (tableau VI).

Dans la région du Bénin étudiée par Schreckenberg (*op. cit.*), la cueillette rapporte six mille cinq cent quarante-six francs C.F.A. par adulte⁽⁷⁾, soit apparemment moins qu'en Casamance, mais elle n'en contribue pas moins de manière importante aux revenus des ménages (tableau VII).

Dans le tome 1 de cette édition, plusieurs communications font état des ressources diverses des jachères en y incluant souvent les plantes médicinales. Les communications de Sène

(7) Il est en fait impossible de comparer les données qui sont données par adulte dans un cas et par famille dans l'autre.

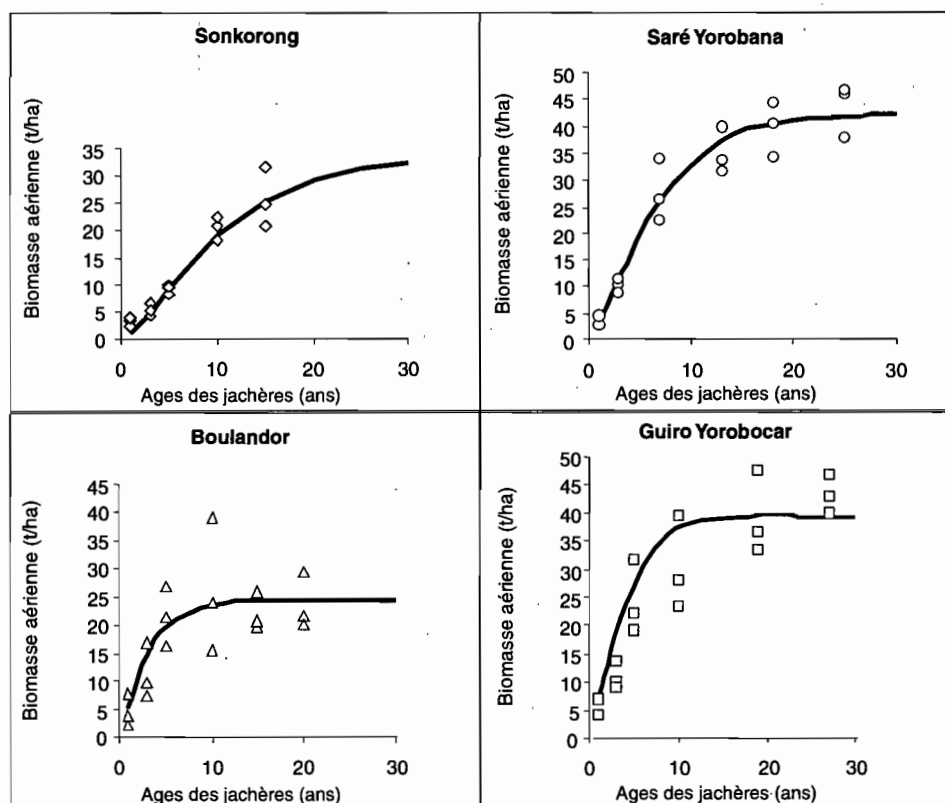


Figure 7. Biomasse ligneuse aérienne en fonction de l'âge de jachères du Sénégal et selon le modèle de Chapman-Richards ($Y = K[1 - \exp(-2rt/K)]^2$), d'après Kaïré, 1999.

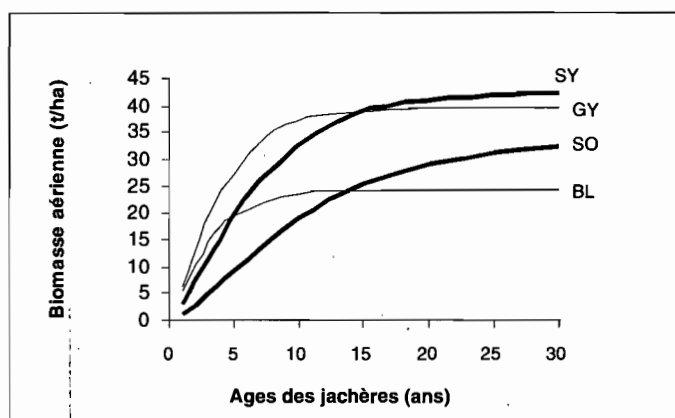


Figure 8. Ajustement à un modèle Chapman Richards de la biomasse ligneuse aérienne de jachères du Sénégal : SY=Saré Yorobana (P = 1200, 220 hab.) ; GY = Guiro Y.Bocar (P = 1200, 2800 hab.) ; SO = Sonkorong (P = 800, 1000 hab.) ; BL = Boulador (P = 1300, 480 hab.), d'après Kaïré (1999).

Tableau VI. Principaux fruits récoltés dans la région de Bignona selon Ndiour (1996).

Espèce	Nom Ouolof	Récolte maxi (kg pour le village)	Période de collecte
<i>Saba senegalensis</i>	<i>Mad</i>	1 080	Avril à juillet
<i>Landolphia heudelotii</i>	<i>tol</i>	415	Mai à août
<i>Elaeis guineense</i>	<i>tir</i>	4 900	Novembre à juillet
<i>Detarium senegalense</i>	<i>ditakh</i>	1 100	Novembre à mai
<i>Borassus aethiopum</i>	<i>coni</i>	4 800	Octobre à juin
<i>Dialium guineense</i>	<i>solom</i>	1 100	Avril à juin
<i>Adansonia digitata</i>	<i>bouye</i>	430	Avril à juin
<i>Parkia biglobosa</i>	<i>oul</i>	1 280	Avril à juillet
<i>Parinari excelsa</i>	<i>mampato</i>	400	Avril à juin
<i>P. macrophylla</i>	<i>néo</i>	1 440	Avril à juin

Tableau VII. Valeur annuelle des produits de collecte dans un village du Bénin (Schreckenber, 1996, p. 255).

Arbre	Produit	Valeur F CFA (1993)
Karité	amande beurre	566 280
Divers	miel	333 600
Palmier à huile	Huile, vin et divers	777 400
Zanthoxylum	écorce de racine	70 000
Saba	éponge	52 000
Néré	graines moutarde	14 070
Phenix	nattes	3 500
	total	1 816 850
	soit par adulte et par an	6 546

et al. (2000), Badiane *et al.* (2000), ainsi que de Kaïré & Dione (2000), se rapportant au Sénégal, de Zapfack *et al.* (2000) au Cameroun ou de Douanio & Lacombe (2000), au Burkina, apportent de précieuses données sur cet important aspect des jachères.

Produits médicinaux

On rencontre des plantes d'intérêt médicinal à tous les stades de la succession : « toute plante est médicinale, mais il y en a dont on ignore l'usage ». Dans l'évaluation des ressources médicinales et dans le contexte socio-économique actuel du Sahel, il faut tenir compte plus de la présence des espèces que des quantités prélevées, comme on le ferait s'il y avait vente. Personne ne souhaitant tomber malade, l'important est de pouvoir se soigner, pas de se soigner. En fait moins on utilise de médicaments mieux ça vaut. Pour pouvoir disposer de médicaments, quand la nécessité s'en fait sentir, il faut disposer de zones de végétation à tous les stades, avec toute leur diversité potentielle. L'intérêt des jachères sur le plan des plantes médicinales est plus qualitatif que quantitatif et il faut bien distinguer la ressource (ce qui est présent) de l'usage (ce qu'on prélève). Par ailleurs, pour toute ressource biologique, mais

c'est particulièrement vrai pour les plantes médicinales, il existe des modes d'utilisation qui détruisent la ressource, d'autres qui la préservent voire lui permettent de se développer. Le prélèvement des racines (l'écorce des racines est très souvent la partie la plus riche des plantes) conduit fréquemment à la mort de la plante.

Les plantes médicinales sont aussi bien herbacées que ligneuses. Il semble que les plantes herbacées, souvent trouvées près de la maison, soient préférées des femmes. Les hommes, spécialement les tradipraticiens, préfèrent les arbres qui disent-ils sont plus forts. Ce sont eux aussi qui vont chercher les plantes le plus loin des villages (en Côte-d'Ivoire, on dit qu'une plante qui a entendu le chant du coq a perdu ses pouvoirs).

Les plantes médicinales peuvent se répartir en deux catégories. Des plantes de bonne réputation qui servent un peu à tout, sortes de panacées, éventuellement réservées à une catégorie de la population : plantes pour femmes, pour enfants (*Anona senegalensis*), pour vieillards. Ces plantes servent à combattre tous les petits maux si fréquents de la vie quotidienne : diarrhées, problèmes respiratoires, boutons et plaies qui ne cicatrisent pas, fièvres. À côté de ces passe-partout, quelques espèces ont des propriétés bien particulières. Certaines sont à utiliser avec discernement et pourraient autrement être plus dangereuses qu'utiles par exemple le *Rauvolfia vomitoria*, les *Strophanthus*. Parmi ces plantes fortes citons *Khaya* comme fébrifuge, *Cochlospermum* comme hépatoprotecteur, *Securidaca* comme antivenimeux, *Fagara* comme antidrépanocitaire, *Guiera* comme antidiarrhéique (cf. Pousset, 1989-a).

On peut très bien envisager la production de certaines plantes médicinales pour la vente comme une alternative intéressante pour la mise en valeur de sol, notamment de sols marginaux, avec une valeur ajoutée importante (cf. Pousset, 1989-b). Mais dès lors qu'on parle de culture, on sort du domaine de la jachère et on arrive à un stade d'agriculture évolué.

Le tableau VIII, d'après Bélem *et al.* (1996), donne la liste des principales espèces alimentaires récoltées dans les jachères du Zitenga, au Burkina Faso.

Les travaux cités plus haut à propos de produits divers, inventorient et évaluent également le plus souvent les plantes médicinales. Le tableau IX, d'après Diop (1997), donne la liste des principales espèces médicinales récoltées dans les jachères de Casamance, au Sénégal.

Miel

Le sucre de canne devenu banal avec la monétarisation de l'agriculture a un peu relégué au deuxième plan le miel. Cependant, le miel est meilleur au goût et meilleur pour la santé que le sucre industriel, de plus les abeilles qui le produisent, fécondent les fleurs et permettent une meilleure production de fruits. En Europe et aux Etats-Unis d'Amérique, les producteurs de fruits louent les services d'apiculteurs pour accroître leurs productions.

Les arbres ont un rôle essentiel dans la vie des abeilles. En effet ce sont les seules plantes actives en saison sèche, et nombreuses sont les espèces d'arbres qui fleurissent pendant cette saison. En dehors même du nectar, l'eau trouvée dans les fleurs permet la survie des insectes. Les arbres du parc, en particulier le karité, et ceux des vieilles jachères ont un rôle déterminant pour la production de miel. Ils servent aussi de support aux ruches qui, elles-mêmes, sont construites, au moins en partie, de bois (*Bombax*) ou d'écorces (*Daniellia*).

Selon Depommier (1987), la production de miel de brousse est de cinq à sept litres par hectare et rapporterait aux familles centrafricaines étudiées cinquante mille francs C.F.A. par an. À titre d'indication le miel est vendu trois mille francs C.F.A. la bouteille de un litre à Ouagadougou (prix relevé en 1995), et de deux mille francs CFA à Dakar en 2000.

Gibier

Les productions animales spontanées n'ont reçu qu'une attention distraite, ce qui est une lacune quand on considère leur importance potentielle dans l'alimentation et l'économie.

Tableau VIII. Produits non ligneux vendus sur les marchés de Zitenga (Burkina Faso), d'après Bélem *et al.*, 1996.

Espèces	Partie vendue
1. <i>Acacia macrostachya</i>	Graines
2. <i>Adansonia digitata</i>	Feuilles fraîches Feuilles sèches
3. <i>Balanites aegyptiaca</i>	Fruits Graines
4. <i>Bombax costatum</i>	Calices frais Calices secs
5. <i>Butyrospermum paradoxum</i>	Amandes Beurre
6. <i>Detarium microcarpum</i>	Fruits
7. <i>Diospyros mespiliformis</i>	Fruits
8. <i>Parkia biglobosa</i>	Fruits Graines
9. <i>Piliostigma reticulatum</i>	Feuilles pilées
10. <i>Tamarindus indica</i>	Fruits Feuilles pilées
11. <i>Vitex doniana</i>	Fruits
12. <i>Ziziphus mauritiana</i>	Fruits
13. Miel	

L'importance de la jachère dans la production de gibier est grande. Beaucoup de travaux (essentiellement en zone forestière) ont montré que ce sont les stades intermédiaires de la succession qui sont les plus giboyeux. La composition chimique des plantes de jachère (souvent moins de tanins que chez les plantes climaciques) et la petite taille des arbustes, qui les met à portée de dent, jouent un rôle dans cette abondance de gibier. Quand la jachère disparaît, disparaît avec elle la quasi-totalité du gibier et avec lui le plaisir de la chasse. Par ailleurs, pour beaucoup de sociétés, seule la viande sauvage est de consommation quotidienne, le bétail et la volaille étant réservés aux manifestations sociales. Dans ce contexte social, la disparition du gibier entraîne des carences alimentaires. Selon Bernard *et al.* (1995), la vente de viande de brousse, rapporte 1,6 million de francs C.F.A. aux villageois de Dolékaha dans le Nord de la Côte-d'Ivoire, soit plus que la vente du coton. Baumer (1997) montre la diversité des productions animales et le rôle des ligneux dans cette production.

Termites

Les termites jouent un rôle considérable dans la vie soudanienne. Certaines espèces de termites (*Macrotermes*) sont localement consommées et fort appréciées (Iroko, 1996). On consomme les champignons qui se développent sur les meules des termites champignonnisées. Les termites nourrissent aussi oryctéropes et oiseaux (dont poussins). Éliminées des champs par les paysans, c'est dans les jachères que se développent des termitières, car elles y trouvent les conditions d'alimentation et de tranquillité qui leur sont nécessaires (Makhfouss Sarr, *comm. Pers.*).

Les produits indirects

Comme nous l'avons vu en introduction, l'intensification agricole, rendue nécessaire par l'augmentation des densités de population, passe par le remplacement de processus naturels

Tableau IX. Principales espèces ligneuses des jachères à usage médicinal en zone soudanienne du Sénégal (Diop, 1997).

Espèces	Maladies traitées	Parties utilisées
<i>Acacia albida</i>	Grippe, rhume, bronchite, maux de dent	Ecorce, feuille, racine
<i>Acacia macrostachya</i>	Maux des yeux	Racine
<i>Acacia seyal</i>	Constipation, brûlure	Ecorce
<i>Adansonia digitata</i>	Fébrifuge	Ecorce
<i>Afrormosia laxiflora</i>	Grippe	Racine
<i>Alchornea cordifolia</i>	Fébrifuge	Feuille
<i>Alstonia boonei</i>	Maux de ventre	Ecorce
<i>Annona senegalensis</i>	Fièvre jaune	Racine
<i>Baissea multiflora</i>	Contre poison, maux gastriques	Racine
<i>Bridelia micrantha</i>	Maux des yeux	Racine
<i>Calotropis procera</i>	Urine non contrôlée	Racine, feuille
<i>Capparis tomentosa</i>	Impuissance sexuelle, constipation	Racine, feuille
<i>Cassia sieberiana</i>	Brûlures, fébrifuge, maux de ventre	Feuille, racine
<i>Combretum glutinosum</i>	Hypertension, rhume	Feuille, écorce
<i>Combretum micranthum</i>	Antibiotique, syphilis	Feuille
<i>Combretum racemosum</i>	Maux de ventre	Racine
<i>Conocarpus erectus</i>	Fatigue générale	Racine
<i>Cordyla pinnata</i>	Abcès, vermifuge	Ecorce, racine, feuille
<i>Daniellia oliveri</i>	Colique, brûlure	Feuille, résine
<i>Detarium microcarpum</i>	MST, diarrhée, maux de ventre	Ecorce, racine
<i>Detarium senegalensis</i>	Maux de ventre, constipation	Ecorce, feuille
<i>Erythrina senegalensis</i>	Syphilis, maux de ventre	Ecorce
<i>Fagara rubescens</i>	Maux de ventre	Feuille, racine, écorce
<i>Fagara xanthoxyloides</i>	Maux de dent	Racine
<i>Ficus sckott-elliottii</i>	Fièvre jaune	Feuille
<i>Gardenia ternifolia</i>	Stérilité chez la femme	Racine
<i>Gardenia triacantha</i>	Impuissance sexuelle, hypertension	Racine
<i>Guiera senegalensis</i>	Toux, fièvre, maux de dent	Feuilles
<i>Holarrhena floribunda</i>	Maux de ventre	Racine
<i>Icacina senegalensis</i>	Personne chétive	Racine
<i>Jatropha curcas</i>	Purgatif, rhumatisme, plaie, dermatose	Graine, feuille, huile, latex
<i>Khaya senegalensis</i>	Paludisme, avortement	Ecorce
<i>Leptadenia hastata</i>	Maux de ventre	Racine
<i>Nauclea latifolia</i>	Fièvre jaune	Racine
<i>Ostryoderris stuhlmanii</i>	MST	Racine
<i>Parinari excelsa</i>	Insomnie, fatigue	Ecorce
<i>Parkia biglobosa</i>	Hémorroïde, stérilité, bronchite, brûlure	Feuille, écorce
<i>Piliostigma thonningii</i>	Syphilis	Racine
<i>Prosopis africana</i>	Ulcère, diarrhée, vers	Ecorce, racine

Tableau IX (suite)

Espèces	Maladies traitées	Parties utilisées
<i>Securidaca longepedunculata</i>	Fièvre, contre serpent	Racine
<i>Tamarindus indica</i>	Diarrhée	Ecorce
<i>Terminalia macroptera</i>	Syphilis, plaie, maux de ventre	Ecorce
<i>Trichilia prieureana</i>	Contre le poison	Ecorce
<i>Uvaria chamea</i>	Rougeole, stérilité	Racine
<i>Vitex doniana</i>	Fièvre jaune	Racine, écorce

par des processus artificiels. Mais, en suppléant à la nature pour une fonction particulière quelconque, on détruit en fait en même temps tout un équilibre fonctionnel. Dès lors qu'on intervient en un point, il faut corriger en d'autres points pour garder un fonctionnement durable. En passant du stade de la cueillette au stade de l'agriculture à longues jachères, l'homme remplace les facteurs d'ouverture du milieu en provoquant lui-même l'ouverture du milieu. Ce faisant il introduit une notion de régularité dans un processus autrement aléatoire, ce qui conduit à la multiplication de certaines espèces aux dépens d'une plus grande biodiversité (Alexandre, 1978). En passant de la longue jachère à la jachère courte, on se prive de l'effet nettoyant de la jachère à l'encontre des adventices. On se prive aussi de l'effet « pépinière » pour certaines espèces utiles comme le karité (Ouédraogo & Devineau, 1996 ; Devineau, 2000) ; cette espèce, dont les graines perdent rapidement, en se desséchant, leur pouvoir germinatif, met plus de dix ans avant de perdre son habitus géophytique et ne peut se multiplier et être protégée par les paysans que si la jachère a été suffisamment longue. De la même façon, en passant de la jachère courte à la culture continue, on abandonne les mécanismes d'entretien de la fertilité physico-chimique du sol. On est obligé de labourer et avec le labour ce sont tous les arbres qui disparaissent, y compris le faidherbia qui pourtant profite d'une certaine usure du sol qui lui permet de ne pas affronter la compétition avec les adventices et de disposer de reliquats d'humidité suffisants pour se développer (Alexandre, 1996).

Les arbres semblent avoir un effet particulier sur la remontée de la fertilité du sol. C'est un effet plus lent à se faire sentir que celui des graminées, mais aussi plus durable. Ce rôle pourrait être lié à la présence de lignine, précurseur privilégié de matière organique stable (Alexandre, 1997). Le rôle des essences exotiques, introduites dans les jachères dites améliorées, est controversé. Ainsi Harmand (1998), au Cameroun, trouve que contrairement à *Acacia polyacantha*, qui est local et qui améliore rapidement le sol, les acacias australiens (comme *A. holosericea*) le dégrade. Au Sénégal les expériences en cours montrent également une baisse des teneurs en potassium, en calcium et en magnésium sous *A. holosericea*, qui sera préjudiciable aux futures cultures s'il n'y a pas brûlis sur place de toute la biomasse produite par ces arbres. *A. holosericea* semble présenter l'inconvénient supplémentaire de favoriser la présence de nématodes parasites. La fertilité du sol est cependant une notion trop complexe pour se limiter à ces seuls facteurs. Le rôle de la jachère dans l'entretien de la fertilité du sol ayant fait l'objet d'un atelier du programme (Floret & Pontanier, 1997) nous y renvoyons le lecteur.

Conclusion

En faisant alterner des périodes où la terre est dénudée et semée et des périodes où elle n'est ni dénudée ni semée (jachère) le paysan assure au moins partiellement le maintien de la fertilité du sol. Mais la période de jachère n'est pas une période de « repos », où la terre serait en quelque sorte sortie du système. La jachère, fait partie intégrante du système de production. La terre y produit, spontanément, de l'herbe pouvant servir de fourrage ou de matériau, du bois pour le feu, la construction, l'artisanat, des médicaments, du gibier, du miel...

Une grande partie de la production n'est pas exploitée mais rentre cependant dans le cycle écologique. Cette distinction entre production brute et production exploitée est fondamentale. De même, l'exploitation des diverses productions peut conduire à entretenir la productivité ou au contraire la mettre en péril : le pâturage tend à maintenir la production fourragère tandis que l'exploitation des racines des plantes médicinales peut les faire disparaître.

Si actuellement la jachère reste spontanée, non semée ni plantée, elle peut néanmoins résulter de pratiques plus ou moins conscientes. Certaines espèces sont respectées, voire protégées et gérées. On connaît, ici ou là, des pratiques de semis de néré ou de karité, les modes de tailles sont différents d'une espèce à l'autre (cas des *Prosopis africana*, *Ziziphus mauritiana*, *Mitragyna inermis*,...). Pour plusieurs espèces, mais cela dépend de la région, on s'achemine vers une domestication complète.

La durée de la jachère et son mode d'exploitation déterminent largement la nature des plantes qu'on y trouve, leur taille, les usages qu'on peut en faire. Mais cette durée et ce mode de gestion n'est pas du tout une donnée fixe qui dépendrait de la densité de population ou du degré d'évolution technique d'un village. En fait il existe une gamme étendue de jachères différentes, certaines courtes et d'autres longues, certaines pâturées en saison sèche et d'autres en hivernage, etc. Dans un même village, le paysan n'a pas les mêmes pratiques selon que la terre est située proche de sa concession ou plus loin, selon que le sol est profond ou superficiel, selon qu'elle lui appartient ou pas... En fait on va donc rencontrer toute une mosaïque de parcelles d'histoire et donc de structures différentes. Les espèces traduisent assez fidèlement les conditions stationnelles (espèces pérennes sur sol profond, décidues sur sols minces) et leur morphologie (hauteur, diamètre, cicatrices, ...) les modes de gestion. Au sein de la mosaïque villageoise les parcelles évoluent. L'usage de plus en plus intensif conduit à une éclaircie progressive des grands arbres en commençant par ceux qui ne sont qu'utiles⁽⁸⁾. Les espèces très utiles finissent aussi par être éliminées. Le stade final est souvent actuellement une replantation avec des essences exotiques. Pour les arbustes aussi il y a une succession mais assez différente car ils sont à la fois plus soumis à l'homme et, souvent, plus aptes à se multiplier. On voit ainsi se succéder des phases à forte dominance spécifique. A Sobaka par exemple, le stade « feu » est caractérisé par *Combretum glutinosum*, le stade pâturage par *Piliostigma reticulatum* et le stade courte jachère par *Guiera senegalensis*.

L'étude des jachères dans leur diversité locale est l'entrée privilégiée vers la compréhension de l'histoire d'un terroir et ce n'est qu'en comprenant l'histoire qu'on pourra proposer des scénarios pour le futur.

La crise actuelle de la jachère provient en partie d'une sous valorisation de ses produits. L'organisation de la filière bois qui se met localement en place (cf. Bazile, 1998) est ainsi de nature à encourager la préservation des ligneux, voire leur réintroduction dans les systèmes agricoles. Le bois pouvant apparaître comme une production de rente écologiquement durable.

(8) Pour certains usages, notamment médicaux, un petit nombre de pieds peut satisfaire les besoins de tout un village.

Annexe I

La production de bois des jachères en zone soudanienne. Rappels dendrométriques

Le problème de la production de bois en zone soudanienne est crucial pour son développement. Mais c'est un problème complexe qui laisse la place à beaucoup de lacunes fondamentales. Les données de la littérature sont disparates, souvent impossibles à comparer. Il n'est peut-être pas inutile de faire quelques rappels sur les notions de dendrométrie pour pouvoir les appliquer au bois des jachères. L'essentiel de ce qui suit est tiré de Pardé et Bouchon (1988) et de Rondeux (1993).

Le volume

La notion de volume, longtemps seule utilisée par les forestiers, correspond à l'usage du bois d'œuvre. De plus le cubage s'affranchit de la nécessité de devoir mesurer la teneur en eau qui est très variable. Les tarifs de cubage du bois ne portent généralement que sur une partie de l'arbre : la grume ou rondin. Ils sont établis à partir de mesures précises, sur un grand nombre d'échantillons, de paramètres faciles à observer tels que le diamètre à hauteur de poitrine (1,30 m) et établissement de régressions. Le volume des arbres, ou d'une partie de ces arbres est soit calculé, soit mesuré à la cuve par déplacement d'un liquide, soit même maintenant par analyse d'images numériques. Les moyens actuels de calcul ont rendu l'établissement de tarifs bien plus facile que par le passé.

La biomasse est bien plus utile à l'écologiste. Il s'agit bien entendu de la biomasse sèche ou « poids sec », seule donnée comparative. L'écologiste mesure la biomasse de tous les compartiments vivants (troncs, mais aussi tiges, feuilles, fleurs et fruits, racines) ou morts (litière et matière organique). C'est la première étape dans l'approche dynamique et fonctionnelle qui passe par la mesure de la production. La production c'est la variation des stocks des divers compartiments d'un système et les flux des uns aux autres au cours du temps. C'est bien cette production que nous avons besoin de connaître pour la gestion de nos jachères, par exemple pour savoir si la production peut faire face aux prélèvements. C'est aussi la mesure la plus complexe, surtout pour des peuplement spontanés comme ceux des jachères en zone soudanienne, plurispécifiques et inéquiennes. Les jachères se rapprochent des taillis sous futaie. En effet, elles comportent souvent des grands arbres de par cet des rejets de souches. Comme l'écrit Rondeux (1993) :

La modélisation de la production de peuplements inéquiennes a, comparativement aux peuplements équiennes, fait l'objet de très peu d'études. Le problème essentiel provient de la difficulté, voire de l'impossibilité, étant donné la structure de ces peuplements, de se référer à un âge. En outre ces peuplements comportent presque toujours plusieurs essences en mélange.

On utilise principalement trois méthodes pour arriver à une estimation de la production. La première consiste à mesurer de façon répétée un même peuplement protégé ou parcelle permanente. On établit les relations d'allométrie lors de l'abattage final et on reconstitue l'histoire de l'évolution des biomasses dans le passé de façon à établir des scénarios de gestion optimisée. On peut aussi établir des relations à chaque étape sur des sous-échantillons. La deuxième méthode consiste à ne faire qu'une seule mesure (dimensions et biomasses) et à reconstituer l'histoire du peuplement à l'aide d'une analyse de cernes et grâce aux relations diamètres/hauteurs. L'avantage est d'éviter la lourdeur et le prix des parcelles permanentes. La troisième méthode, qui va sans doute se développer avec les facilités de

calcul, est d'établir des lois de croissance en fonction des divers paramètres pertinents. C'est la méthode la plus souple mais qui nécessite des connaissances qui ne sont pas encore disponibles pour la zone soudanienne.

La validité des équations de régression dépend de la représentativité de l'échantillonnage. Il importe de prendre en compte toutes les sources de variabilité : différents sols, positions sur la toposéquence, espèces, âges, histoires, densités...

On a souvent tendance à établir les relations d'allométrie sur de petites parcelles et à étendre les résultats à l'ensemble d'une zone bien plus vaste. C'est évidemment incorrect et c'est en fait le contraire qu'il faudrait faire. Soulignons qu'un mauvais échantillonnage donnera souvent un meilleur coefficient de corrélation qu'un échantillonnage plus représentatif. Une régression obtenue avec les différents brins d'une seule cépée pourra ainsi avoir un coefficient de corrélation proche de un. On a de même tendance à mesurer beaucoup de petits arbres, alors que ce sont les plus gros qui sont variables et qu'il faut donc mesurer. La facilité que confère les micro-ordinateurs conduit aussi souvent à retenir des équations fantaisistes qui certes donnent d'excellents ajustements mais ne traduisent aucune réalité écologique. Indépendamment de leur valeur explicative nulle, elles ont toutes les chances de ne pas résister à un échantillonnage plus poussé. Les régressions ne sont bien sûr valables que dans la limite des échantillonnages. Cependant en étendant l'extrapolation on a un moyen facile de voir si le modèle utilisé est réaliste, en d'autres termes a ou n'a pas une signification biologique. Les équations de type polynomiales s'adaptent aux volumes ou cubages mais pour les biomasses il est admis qu'il vaut mieux retenir les équations allométriques⁽⁹⁾ :

$$B = a \cdot X^{\alpha} + \epsilon$$

où X est la variable explicative, le plus souvent le diamètre à 1,30 mètre (DHP ou DBH) et où l'exposant α est compris entre deux et trois, généralement de l'ordre de 2,5. Cette valeur de 2,5 pourrait avoir une explication mécanique, car elle correspond au meilleur compromis poids/résistance⁽¹⁰⁾. Le terme ϵ qui correspond en théorie au poids d'un individu qui atteint tout juste 1,30 mètre de haut peut généralement être négligé.

Dans les résultats, il faut donner la précision (intervalle de confiance) et les limites de validité (étendue de l'échantillonnage). D'une manière générale, il est aussi bon de donner la distribution diamétrique du peuplement échantillonné, ce qui est une image synthétique de sa structure fort utile et permet de plus de savoir si certains tests statistiques s'appliquent.

On notera que la variabilité des biomasses est très généralement proportionnelle à leur valeur (distribution en trompette ou queue de comète) : plus les arbres sont gros, plus ils sont variables, moins bien ils sont estimés. Or, ce sont eux qui forment l'essentiel de la biomasse. Cela a deux conséquences. La première est qu'il est illusoire et incorrect de donner les coefficients de régression avec plusieurs chiffres significatifs (on en voit souvent 5 !). La deuxième est qu'il ne sert à rien de mesurer les petites tiges quand une seule grosse fait à elle seule plus que toutes les petites réunies. En règle générale, on ne prendra en compte que les tiges qui atteignent au moins le quart des plus gros diamètres (diamètre de précomptage). Par exemple, si les plus grosses tiges ont un diamètre de trente à quarante centimètres, on peut le plus souvent négliger les tiges de moins de dix centimètres. Pour une étude fine du milieu, il y a tout intérêt à échantillonner indépendamment les grands arbres et les petits, ou, d'une manière plus générale, toute cohorte qui peut avoir sa dynamique propre. À Sobaka, au Burkina Faso, nous avons distingué quatre strates : les grands arbres épargnés lors des défrichements ou rémanents, les « arbres » de plus de deux mètres suffisamment grands pour

(9) L'équation allométrique générale peut s'écrire $Y = k X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \dots X_n^{\alpha_n} + \epsilon$.

(10) McMahon (1975) a établi que, pour des raisons mécaniques, on doit avoir la relation $D = k H^{3/2}$. Dans ce cas le coefficient vaut 2,66.

être à l'abri du feu, ceux de moins de deux mètres dont la partie aérienne disparaît à chaque feu et, enfin, les plants de l'année (cf. Somé, *et al.*, 2000).

Dans les relations de cubage ($v = f \cdot g \cdot h$), les causes de variation sont au niveau de la forme des troncs en relation avec les espèces et les conditions de croissance, de la hauteur qui, pour un âge et un diamètre donné, varie avec la richesse de la station (sols fertiles = arbres grands). Parmi les facteurs importants de la fertilité des sols en zone soudanienne il faut faire une place particulière à la profondeur, qui est fréquemment limitée par les résidus de dalles, et aux états de surface, très fortement affectés par l'usage des sols.

Le bois de feu ou bois énergie est commercialisé d'après son volume d'encombrement mesuré en stères (ou en cordes, soit 4 stères⁽¹¹⁾).

La biomasse

Quand on passe du cubage à l'estimation de la biomasse, le paramètre supplémentaire est la densité (en fait masse volumique) $B = d \cdot f \cdot g \cdot h$. Celle-ci varie surtout avec l'espèce et les conditions de croissance. Chez les feuillus, il semble que la densité soit d'autant plus grande que la croissance est rapide. Cela peut sembler assez paradoxal, mais s'explique en considérant que plus la saison de croissance est longue, et plus le cerne est épais, plus il y a de bois d'été, c'est-à-dire de bois avec un grain fin donc dense. La densité qui permet de passer du volume vert au poids sec est appelée infradensité. Le bois se rétracte en effet au séchage et les dimensions sont prises sur bois vif tandis que le bois est pesé après passage à l'étuve. Certains bois se rétractent plus que d'autres. On notera que les arbres vivants se rétractent aussi, selon leur bilan hydrique. Il y a un rythme diurne avec rétractation au cours de la journée, et une rétractation en saison sèche, très sensible à la fin de celle-ci quand les arbres remettent à feuille avant l'arrivée des pluies (cf. CNRST 1998).

À l'échelon de peuplements entiers, il existe des interactions entre individus qui aboutissent à une certaine homogénéisation des biomasses sur pied et des productions. La « loi d'Eichhorn » (1904, in Parde & Bouchon, 1988) veut que le volume soit, pour une espèce donnée, fonction en premier lieu de la hauteur moyenne, indépendamment de l'âge ou de la fertilité stationnelle. Bien que critiquée par certains, elle est défendue par d'autres comme Zarnovican (1986). La hauteur dominante donne de meilleurs résultats que la hauteur moyenne. Elle donne rapidement une estimation de la biomasse (cf. Vooren, *comm. pers.*, ou Duchaufour *et al.*, 1958).

La production

Les phénomènes qui gouvernent la production sont très complexes, mais il faut faire une place privilégiée à l'espace vital des individus, c'est-à-dire à la densité du peuplement qui est une fonction du nombre d'individus par rapport à leur taille. En zone soudanienne, et *a fortiori* sahélienne, les arbres peuvent utiliser une surface de sol bien supérieure à celle de leur houppier et un peuplement ouvert au niveau aérien peut, en fait, être saturé au niveau des racines. Au Sahel, l'eau est le facteur limitant principal de la croissance des arbres ; en forêt dense, c'est la lumière ; en zone soudanienne, les choses sont plus complexes : l'eau et la lumière peuvent être limitants mais aussi l'alimentation minérale, plus tous les stress liés à l'homme directement ou indirectement, par le feu et les animaux.

Les chiffres souvent très bas, donnés dans la littérature, correspondent probablement à des peuplements très dégradés, qui ont perdu leur capacité de production. Cette dégradation pourrait être très rapide (cf. Gaston *et al.*, 1998).

(11) La corde anglo-saxonne vaut $4 \times 4 \times 8$ pieds soit 3,62 stères.

Production actuelle, sous protection et production potentielle

La production est toujours un bilan entre une production brute et une certaine quantité de pertes dues à différents facteurs (respiration, chute des organes morts = litière, consommation par les insectes, feu, etc.). Lorsqu'on observe l'évolution de la biomasse ligneuse de parcelles en jachère, on a affaire à des peuplements qui subissent divers prélèvements par les animaux ou les hommes. La mise sous protection permet en théorie d'éliminer ces prélèvements. Mais cela ne donne pas pour autant une production potentielle. D'une part la protection ne permet pas une évolution instantanée vers le climax qui serait certainement le stade qui aurait la production brute la plus élevée grâce à une combinaison d'espèces diverses mais aurait en fait une production apparente nulle. Un peuplement rajeuni est plus productif qu'un peuplement vieillissant. D'autre part, la présence d'animaux paisseurs dans un recru ligneux n'est pas nécessairement négative. En effet, les graminées et les arbres se montrent constamment antagonistes et, en diminuant la vitalité des herbes, les animaux peuvent favoriser les arbres. Les herbes sont par ailleurs le véritable combustible de la savane : sans herbe pas de feu, donc pas de perte par incendie.

Quelques remarques supplémentaires

Les forestiers s'intéressent pratiquement toujours aux volumes (de bois fort), l'écologiste aux biomasses (poids secs). On appelle « bois fort » le bois d'une circonférence supérieure à vingt-deux centimètre (ou 7 cm de diamètre).

La formule de Smalian :

$$V = (G_i + G_j) h/2$$

est la plus utilisée pour calculer le volume des rondins. C'est une formule approchée, qui n'est juste que pour une forme parabolique parfaite. Le volume commercial s'obtient avec une formule plus simple :

$$v = \pi/4 d'^2 h \quad \text{ou} \quad 1/4 \pi c'^2 h$$

avec c' ou d' circonférence ou diamètre en milieu de bille.

Le coefficient de forme $f = k^2$ et $k = d'/d$ où d' est le diamètre à mi-hauteur ; pour un tronc cylindrique k est proche de 1 (0,85 à 0,9), pour une belle tige de futaie résineuse on observe des valeurs proches de 0,7 ; 0,5 pour des résineux coniques de prés-bois et 0,35 pour des néloïdes comme les arbres isolés de pâtures. On considère souvent qu'un arbre est composé d'un néloïde à la base ($f = 1/4$), d'un cône pour la bille ($f = 1/3$) et d'un parabolique pour la tête ($f = 1/2$).

Le diamètre des arbres à hauteur de poitrine ou D_{130} est le plus utilisé par les forestiers. Cependant dans les conditions soudanaises où les arbres sont souvent bas-branchus, on est souvent amené à opter pour un niveau de mesure situé plus bas. La hauteur de quarante centimètres a souvent été retenue, ainsi que celle de souche, c'est-à-dire environ dix centimètres au-dessus du sol, là où les bûcherons coupent les arbres. Kaïré (1999) a effectué sur les mêmes tiges des mesures à cent trente centimètres et au sol. Ses données montrent que :

Diamètre à la base ou $D_0 = 1,15 * D_{130}$ ou encore $D_{130} = 0,84 * D_0$.

Sur une petite parcelle de Ouagadougou, nous avons obtenu une relation voisine (Barry & Alexandre, en préparation) :

$$C_{130} = 0,75 C_b \text{ soit encore } C_b = 1,33 C_{130} (R^2 = 0,94)$$

Le tableau X donne quelques valeurs guides utiles pour l'estimation bioénergétique.

Le coefficient d'empilage mesuré par Neya (CNRST, 1999) pour le bois du Nazinon, au Burkina Faso, de 0,5 est moyen, celui de 0,35 mesuré par Bazile (1998) au Mali se situe

Tableau X. Quelques valeurs guides utiles pour l'estimation bioénergétique.

	Min.	Moyenne	Max.
Coefficient d'empilage (m ³ / st.)	0,3 petits bois	0,5 gros bois	0,8 bois refendu
% écorce (en vol.)	5	10	30
Infradensité	0,3	0,5	>1
Teneur en eau du bois « sec » à l'air	10 %	30 %	50 %
Valeur énergétique de 1 kg de bois sec à l'air		3 300 kcal (1 litre de fioul 8 424 kcal)	

parmi les valeurs faibles. La valeur de 0,7 trouvée par Balle (1996) pour des acacias australiens, est parmi les plus fortes.

Selon Bernhard-Reversat *et al.* (1993), la densité du bois de *Acacia mangium* est de 0,5, celle de *A. auriculiformis* de 0,6 à 0,75. Issaka *et al.* (1998) considèrent une densité moyenne de 0,83 pour les arbres de Bondoukui au Burkina Faso.

Le pourcentage d'écorce dans le volume total est de cinq pour cent chez un vieux hêtre, plus de trente pour cent chez le pin ou le mélèze. Le pourcentage d'écorce a une grande importance écologique car c'est l'écorce qui exporte les minéraux (teneur en cendres supérieure à 10 p. cent contre moins de 1 p. cent pour le bois).

Le volume de petit bois (inférieur à 7 cm) représente vingt-trois à quatre-vingts pour cent du gros bois. Le pourcentage augmente de la futaie au taillis.

Estimation d'erreurs

Afin de tester quelques-uns des facteurs d'erreur sur les mesures de biomasse, nous avons effectué quelques mesures sur deux échantillons prélevés au Sénégal dans une jachère de cinq ans, l'un de *Combretum glutinosum*, l'autre de *Terminalia macroptera*. Ils avaient un mois de séchage à l'air quand nous les avons reçus et pu commencer à les étudier.

Le premier examen des échantillons montre qu'on ne peut en aucune manière leur attribuer de forme géométrique simple, cylindrique conique ou autre. Ils sont tout simplement biscornus !

La première mesure a été celle des diamètres aux deux bouts, effectuée au pied à coulisse au dixième de millimètre. On a mesuré le plus grand diamètre, en faisant tourner le pied à coulisse autour de l'échantillon puis le diamètre perpendiculaire. Nous avons ensuite mesuré la circonférence « enveloppante » à l'aide d'une ficelle et d'une règle en mm. La longueur des billons, dont les faces ne sont ni plates ni parallèles, a été mesurée à l'aide du pied à coulisse, avec une précision de l'ordre du mm (tableau XI).

Tableau XI. Mesures sur échantillons.

		Diamètres sur écorce avant étuve	Diamètres sous écorce après séchage
<i>Terminalia macroptera</i> L = 10,2 cm	gros bout	38,0 * 35,5	32,0 * 28,0
	petit bout	33,4 * 33,0	26,9 * 24,9
<i>Combretum glutinosum</i> L = 11,7 cm	gros bout	36,8 * 36,5	32,3 * 32,0
	petit bout	36,2 * 35,0	31,7 * 30,4

On a ensuite procédé aux pesées des échantillons (balance disponible au cg). Les pesées ont été répétées après passage à l'étude à cent cinq degrés Celsius, puis après séparation de l'écorce et du bois (tableau XII). Au cours de la deuxième journée de séchage, la perte de poids est encore de trois pour cent pour l'échantillon de *Terminalia* et seulement de 0,6 pour cent pour le *Combretum*.

Le volume de bois a été mesuré par immersion dans l'eau dans une éprouvette graduée de deux cent cinquante millilitres avec des graduations de deux en deux millilitres. Une pesée au sortir de l'eau permet d'estimer l'erreur due à l'absorption d'eau par l'échantillon. Elle est de moins de un pour cent du volume (tableau XIII).

Tableau XII. Poids des échantillons.

Poids en g	Poids « frais »	Poids total	Poids écorce	Poids bois
<i>Terminalia macroptera</i>	93,90	66,67	24,22	42,04
<i>Combretum glutinosum</i>	100,69	87,40	17,72	69,50

Tableau XIII. Précision sur les mesures.

Grandeur	Sensibilité	Valeur	% précision
Diamètre	1/10 mm	30 mm	0.3
Longueur	10 cm	1 mm	1
Poids	0.01 g	20 g	0.05
Volume	2 cc	60 cc	3 cc
Épaisseur écorce	<i>Comb. glut.</i> <i>Term. macro.</i>	1/10 mm	2.0 mm. 2.7 mm.
			5 3

En comparant les sections calculées à partir des mesures de diamètres ($g d = \pi \cdot D1 \cdot D2 / 4$) ou de circonférences ($g c = C^2 / 4 \cdot \pi$) on constate que la mesure de circonférence surestime la section d'environ sept pour cent.

Les données du tableau XIV permettent de calculer la teneur résiduelle en eau des échantillons après un mois de séchage à l'air. On constate que *Terminalia* a une teneur en eau encore très élevée, alors que *Combretum* est assez proche de la valeur d'équilibre à l'air habituellement admise (12 p. cent). Cette différence importante est sans doute à mettre en relation avec la nature liégeuse et l'épaisseur de l'écorce de *Terminalia*. On remarquera que *Combretum* est semi-sempervirent, alors que *Terminalia* est décidu. Économiser les pertes d'eau par l'écorce alors qu'on porte encore des feuilles qui transpirent abondamment aurait peu de sens. La présence de feuilles au moment du prélèvement peut aussi expliquer une faible teneur en eau initiale.

Tableau XIV. Teneur en eau et pourcentage d'écorce des échantillons de deux espèces.

	Teneur résiduelle en eau (%)	% pondéral d'écorce
<i>Terminalia macroptera</i>	41	36
<i>Combretum glutinosum</i>	15	20

Malgré le séchage déjà-bien avancé, la rétractation du bois des deux échantillons au séchage à l'étuve est relativement importante. Elle est de deux pour cent pour *Combretum*, et de cinq pour cent pour *Terminalia* qui arrive plus humide (cf. *supra*).

La mesure de l'épaisseur des cernes est un des meilleurs moyens d'approcher la croissance. Après ponçage on distingue assez bien quatre cernes sur l'échantillon de *Terminalia* : les deux premiers font environ cinq millimètres, les deux suivant deux millimètres. Il y a discordance entre l'âge de la jachère et le nombre de cernes. Il se peut que la tige ait été détruite par le feu la première année de jachère, mais l'explication la plus probable est que le dernier cerne est présent mais indiscernable. Sur l'échantillon de *Combretum* on en discerne difficilement trois. L'avant-dernier cerne porte les marques du passage d'un feu. La difficulté à distinguer les cernes de la majorité des espèces tropicales est bien connue. Elle est tout à fait étonnante compte tenu de l'importance du rythme climatique. Mariaux (1967) indique que les cernes sont particulièrement difficiles à voir chez les arbres jeunes et à la base des arbres, deux conditions que nous réunissons. Il cite *Terminalia* parmi les espèces où les cernes sont mal délimités et *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Lannea acida*, *Parkia biglobosa*, *Pterocarpus erinaceus* parmi celles où ils sont au contraire bien définis.

Pour conclure sur les problèmes que pose la mesure de la biomasse de bois des jachères on peut faire un inventaire des quelques mesures simples qu'il serait utile de faire :

- mesurer l'épaisseur des écorces ;
- mesurer l'épaisseur des cernes (et leur variation) ;
- établir les relations H/D sur différents types de sols ;
- analyser les densités de peuplements en termes d'exploitation des ressources et de saturation éventuelle de l'espace (étude de l'espace racinaire, bilans hydriques) ;
- mesurer l'humidité résiduelle du bois séché à l'air ;
- mesurer les infradensités des principales espèces (à différents âges) ;
- à plus long terme, étudier l'impact du tapis graminéen sur la croissance des arbres, celui des états de surface sur la disponibilité en eau, l'influence des rhizosphères des arbres sur les graminées et réciproquement ;
- évaluer les différents modes de gestion des arbres en termes de production ligneuse et non ligneuse.

Références

- Achard F. *et al.* (1996). « Ressources ligneuses des jachères du sud-ouest de Niger », in Floret (éd., 1996) : pp. 43-48.
- Achard F. et Banoïn, 2000.
- Adejuwon J.O. (1981). « Fuelwood productivity of fallow regrowth in the forest areas of Nigeria », *Trav. Doc. Géogr. Trop.*, n° 43 : pp. 371-384.
- Alexandre D.-Y. (1978). « Observations sur l'écologie de *Trema guineensis* en Basse Côte-d'Ivoire », *Cahiers Orstom, sér. Biol.*, vol. XIII, n° 3 : pp. 261-266.
- Alexandre D.-Y. (1996). *Les agro-écosystèmes du Burkina : Dynamique et usage des ressources renouvelables*, colloque de clôture, Orléans, 16-17 oct. 1996 : pp. 13-36.
- Alexandre D.-Y. (1997). « Ecological effects of trees in Sudanian parkland agroforestry systems », *L'agroforesterie pour un développement durable*, Atelier international, Montpellier 23-29 juin 1997 : pp. 115-118.
- Anonyme (1984). Maîtrise de l'énergie dans les pays sahéliens, Ateliers techniques du développement, n° 4, Blact-CFECTI-Gret-SGAR-Paca, 138 p.
- Anonyme (1998). Sahelian desertification, Document sur la Toile : <http://ascc.artsci.wustl.edu/~anthro/course/hew98/sahel.html>.

- Aubréville A. (1949). *Climat, forêt et désertification*, Paris, Soc. D'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 352 p.
- Awaiss A. et al. (1996). « Les ressources ligneuses et leur exploitation comme bois de feu et de service à Mayahi », *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*, Cnéarc : pp. 28-33.
- Badiane S., Djiba S., Bodian A., Sidibé D. & Diatta M. (2000). « Importance de la jachère en Basse et Moyenne-Casamance », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : Texte des posters : 93-95.
- Ballé P. (1996). « La problématique de la production globale dans la gestion des jachères : Cas de la zone des forêts humides », in Floret (éd., 1996) : pp. 49-54.
- Barry M. et Alexandre D.-Y. (2000). Etude de la croissance d'une petite parcelle expérimentale. En préparation.
- Bartet J.H. & Bolliet R. (1976). « Méthode utilisée pour la construction de tables de production à sylviculture variable », Fontainebleau, O.N.F., Sér. Tech., doc., n° 76-79.
- Baumer M. (1987). *Agroforesterie et désertification : Le rôle possible de l'agroforesterie dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement*, C.T.A., 260 p.
- Baumer M. (1995). *Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique occidentale*, Enda-C.T.A., 260 p.
- Baumer M. (1997). *L'agroforesterie pour la production animale*, Icrat-C.T.A., 340 p.
- Bazile D. (1997). *La filière bois-énergie au Mali : Analyse bibliographique critique*, Coraf, 74 p.
- Bazile D. (1998). *La gestion des espèces ligneuses dans l'approvisionnement en énergie des populations, cas de la zone soudanienne du Mali*, th., Toulouse-Le Mirail, 452 p.
- Bazilevich N.I., Drozdov A.V. & Rodin L.E. (1971). « World forest productivity, its basic regularities and relationship with climatic factors », Unesco, « Productivité des écosystèmes forestiers », *Écologie et conservation*, n° 4 : pp. 345-353.
- Belem M., Sorgho M.C., Guire D., Zare A. & Ilboudo J.-B. (1996). « Les jachères et leur utilité dans la province du Bazéga : cas des villages de Tanghin et de Bazoulé (Burkina Faso) », in Floret (éd., 1996) : pp. 89-100.
- Bellefontaine R. (1997). *Synthèse des espèces des domaines sahélien et soudanien qui se multiplient naturellement par voie végétative*. pp. 95-104 in « Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens ». D'Herbes J.-M., Ambouta J. M. K. et Peltier R. (éds.), John Libbey, Paris.
- Berish C.W. (1982). « Root biomass and surface area in three successional tropical forests », *Can. J. For. Res.*, n° 12 : pp. 699-704.
- Bernard C., Oualbadet M., Ouataru N. & Peltier R. (1995). « Parcs agroforestiers dans un terroir soudanien. Cas du village de Dolékaha au nord de la Côte-d'Ivoire », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 244 : pp. 25-42.
- Bernhard-Reversat F., Diangana D. et Tsatsa M. (1993). « Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation de *Acacia mangium* et *A. auriculiformis* au Congo », B.F.T., n° 238 : pp. 35-44.
- Bonfils M. (1987). *Halte à la désertification au Sahel*, Paris, Karthala, 270 p.
- Boserup E. (1970). *Évolution agraire et pression démographique [The conditions of agricultural growth]*, Paris, Flammarion, 222 p.
- Bruzon V. (1990). *Les savanes du nord de la Côte-d'Ivoire. Mésologie et dynamique : l'herbe, le feu et le pâturage*, th., Paris-VII, 302 p.
- Buttoud G. (1995). *La forêt et l'état en Afrique sèche et à Madagascar. Changer de politiques forestières*, Paris, Karthala, 244 p.
- C.N.R.S.T. (1998). *Rapport scientifique et technique du projet Recherche sur l'amélioration et la gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest*, Burkina Faso, Institut national de l'environnement et de la recherche agricole (Inera), 137 p.
- C.T.F.T. (1988). *Projet inventaire des ressources ligneuses au Mali : inventaire des formations végétales*, Rapport technique, 115 p.
- Cabanettes A. (1989). « Une méthode pour l'estimation de la biomasse ligneuse aérienne dans les jeunes taillis », *Acta Oecologica, Oecol. Applic.*, vol. X, n° 1 : pp. 65-80.
- Carbrier D. (1995). *Les arbres qui cachent la forêt : La gestion forestière à l'épreuve de l'écologie*, Édisud, 244 p.
- Chiba Y. (1998). « Architectural analysis of relationship between biomass and basal area based on pipe model theory », *Ecol. Model.*, n° 108 : pp. 219-225.

- Clément J. (1983). Estimation de la biomasse et de l'accroissement des ligneux dans les formations mixtes forestières et graminéennes tropicales. Voir Inra, 1983.
- Conklin H.C. (1957). *Hanunóo agriculture in the Philippines*, F.A.O., 210 p.
- Coquillard P. & Hill D.R.C. (1997). *Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets*, Paris, Masson, 273 p. (coll. *Écologie*).
- Dagnélie P., Palm R., Rondeux J. & Thill A. (1985). *Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers*, Les Presses Agronomiques de Gembloux, 148 p.
- Depommier D. (1987). *Aspects du parc à karités et nérés dans la région de l'Ouham, République Centrafricaine*. Icrat, multigr.
- Devineau J.-L. (1997). « Évolution saisonnière et taux d'accroissement des surfaces terrières des ligneux dans quelques peuplements savanicoles soudaniens de l'Ouest burkinabè », *Écologie*, vol. XXVIII, n° 3 : pp. 217-232.
- Devineau J.-L. (2000). « Écologie des principales espèces ligneuses alimentaires et fourragères dans un système culture-jachère (Sud-ouest du Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd.) : vol. I, pp. 441-450.
- Diallo M.T. (1995). *Importance des ligneux dans les jachères naturelles et améliorées en Basse Casamance*, mém., Bambey, ENCR.
- Diao O. (1995). *Comportement des systèmes racinaires des ligneux durant le cycle culture jachère en Afrique soudanienne : Étude de la région de Kolda, Haute-Casamance, Sénégal*, 34 p. + annexe.
- Diatta M. & Faye E. (1996). « Effets de quelques années de protection sur la jachère en zone sahélo-soudanienne du Sénégal : structure et production primaire », in Floret (éd., 1996) : pp. 33-42.
- Diatta M. (1994). *Mise en défens et techniques agroforestières au Sine Saloum (Sénégal). Effets sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire*, th., Strasbourg, 202 p. + annexes.
- Diatta M., Faye E., Masse D. & Chotte J.-L. (2000). « Effets des modes de gestion des jachères d'âge différent sur la phytomasse ligneuse aérienne et souterraine : cas du sud-bassin-arachidier au Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) vol. I, pp. 451-459.
- Douanio M. & Lacombe B. (2000). « La perception de la jachère chez les Bwabas de Mamou (province des Balé, Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 15-21.
- Doyen A. (1983). « Inventaire de la mangrove à usages multiples en Basse-Casamance et au Saloum, république du Sénégal », in Inra, n°19 : pp. 45-66.
- Duchaufour P., Jacamon M., Debazac E.F. & Pardé J. (1958). « Un exemple d'utilisation pratique de la cartographie des stations : la forêt du Ban d'Étival (Vosges) », *Rev. For. Franç.*, vol. X, n° 10 : pp. 597-630.
- Eichhorn F. (1904). « Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse », *Allg. Forst. U. J.-Ztg.*, n° 80 : pp. 45-49.
- Eshete G. & Stahl G. (1998). « Functions for multi-phase assessment of biomass in acacia woodlands of the rift Valley of Ethiopia », *For. Ecol. Management*, n° 105 : pp. 79-90.
- Ewel J. (1971). « Biomass changes in early tropical succession », *Turrialba*, vol. XXI, n° 1 : pp. 110-112.
- Cailliez F. & Alder D. (1980). *Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers avec référence particulière aux forêts tropicales*. Etudes FAO, 2 vol., 99 p. et 229 p.
- F.A.O. (1984). *Études sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux*, 1, *Formations forestières sèches*, Études F.A.O. Forêts, 51/1, 88 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1997). *Jachère et maintien de la fertilité. Actes de l'atelier de Bamako*, 2-4 oct. 1997, Coraf-Union européenne, 146 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1998). *Jachère et systèmes agraires. Actes de l'atelier de Niamey*, 30 sept. au 2 oct. 1998, Coraf-Union européenne, 212 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances*, Paris, John Libbey, 804 p. & 356 p.
- Floret Ch. (éd.) (1996). *La jachère lieu de production*, Coraf-Union européenne, 144 p.
- Fournier A., Hoffmann O. & Devineau J.-L. (1982). « Variations de la phytomasse herbacée le long d'une toposéquence en zone soudano-guinéenne, Ouango-Fitini (Côte-d'Ivoire) », *Bull. Ifan*, vol. XLIV, sér. A, n° 1-2 : pp. 71-77.
- Gaston G. et al. (1998). « State and change in carbon pools in the forests of tropical Africa », *Global Change Biology*, n° 4 : pp. 97-144.

- Harmand J.-M. (1998). « Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux », B.F.T., vol. CCLVI, n° 2 : pp. 75-79.
- Inra (1983). « Mesures des biomasses et des accroissements forestiers », *Les Colloques de l'Inra*, n° 19, 356 p.
- Iroko A.F. (1996). *L'homme et les termitières en Afrique*, Karthala, 298 p.
- Issaka B., Ouedraogo J. S. & Devineau J.-L. (1998). « Potentialités forestières de la région de Bondoukou », *Arbres et développement*, n° 21 : pp. 22-28.
- Joet A. et al. (1996). « Le défrichement amélioré : une pratique paysanne d'agroforesterie au Sahel », in Cnéarc, *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel* : pp. 34-42.
- Kaire M. (1999). *La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme au Sénégal*, th., univers. Aix-Marseille-I, 150 p.
- Kairé M. & Dione F. (2000). « Ressources ligneuses des jachères en zones soudanienne et soudano-sahélienne du Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 460-474.
- Kairé M. (1996). « La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme en zones soudanienne et soudano-sahélienne du Sénégal », in Floret (éd., 1996) : pp. 1-18.
- Kira T. & Shidei T. (1967). « Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of Western Pacific », *Jap. J. Ecol.*, vol. XVII, n° 2 : pp. 70-87.
- Kouyaté A.M. (1995). Contribution à l'étude des méthodes d'estimation rapide du volume dans les formations savanicoles. Mémoire DEA en sciences forestières, Université d'Antananarivo, 48 p.
- Lacoste J.-F. (1990). Effets de la suppression d'arbres pionniers sur l'évolution d'un jeune recru forestier guyanais. Thèse Paris-Sud, 134 p.
- Lamotte M. & Bourliere F. (1967). *Problèmes de productivité biologique*, Paris, Masson, 246 p.
- Lemire Pécheux L., Fournier A. & Dugast S. (1996). « Artificialisation des savanes soudanaises et dynamique d'une herbe spontanée utile », *Dynamique et usages des ressources renouvelables*, Colloque, Orléans, 16-17 oct. 1996 : pp. 37-55.
- Leonardi S. & Rapp M. (1990). « Production de phytomasse et utilisation des bioéléments lors de la reconstitution d'un taillis de chêne vert », *Acta Oecologica*, vol. XI, n° 6 : pp. 819-834.
- Lescure J.-P., Puig H., Riera B., Leclerc D., Beekman A. & Beneteau A. (1983). « La phytomasse épigée d'une forêt dense en Guyane française », *Acta Oecologica Oecol. Gener.*, vol. IV, n° 3 : pp. 237-251.
- Lieth H. & Whitaker R.H. (éd.) (1975). *Primary productivity of the biosphere*, Springer Verlag.
- Louppe D. (1991). *Guiera senegalensis*, espèce agroforestière ? Bois et Forêts des Tropiques, 228 : 41-47.
- Manlay R. & Ickowicz A. (2000). « Rôle de l'élevage dans la dynamique de la matière organique à l'échelle d'un terroir agro-pastoral de Haute-Casamance », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 534-545.
- Mariaux A. (1967). « Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 113 : pp. 3-14 et n° 114 : pp. 23-37.
- Montagne P. et Mato H. (1998). Gestion des ressources ligneuses dans les jachères de l'Ouest Niger. In Floret et Pontanier éd. 1998.
- McMahon M.C. (1975). « The mechanical design of trees », *Scientific American*, vol. CCXXXIII, n° 1 : pp. 92-102.
- Mélaud G. (1990). *Méthodes de prévision à court terme*, Éditions de l'Université de Bruxelles-Ellipses, 468 p. (coll. *Statistique et mathématiques appliquées*).
- Mercier J.R. (1991). *La déforestation en Afrique*, Édisud, 178 p.
- Montagne P. & Besse F. (1998). Enjeux de la gestion concertée des ressources forestières : le cas de la stratégie énergie domestique au Niger. Atelier Agriculture péri-urbaine en Afrique Sub-saharienne. CIRAD, Montpellier 20-24 avril 1998.
- Montagne P. & Housseni M. (2000). « Ressources ligneuses des jachères de l'ouest nigérien », in Floret & R. Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 75-79.
- Ndiour P.A. (1996). *Rôle et importance des fruits forestiers issus de la jachère dans la formation des revenus des ménages dans le département de Bignona, Sénégal*.
- Nouvellet Y. (1992). *Évolution d'un taillis de formation naturelle en zone soudanienne du Burkina Faso*, th., Paris-VI, 209 p.
- Nouvellet Y., Sylla M.L. & Kassambara A. (2000). « Détermination de la productivité des jachères dans la zone de Cinzana (Mali) » in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 475-483.

- Nye P.H. (1958). « The relative importance of fallows and soils in storing plant nutrients in Ghana », *J. Wasa*, n° 4.
- Ohler F.M.J. (1985). The fuelwood production of wooded savanna fallows in the Sudan zone of Mali. *Agroforestry Systems* 3 : 15-23.
- Ouedraogo S.J. & Devineau J.-L. (1996). « Rôle des jachères dans la reconstitution du parc à karité (*Butyrospermum paradoxum*) dans l'ouest du Burkina Faso », in Floret (éd., 1996) : pp. 81-88.
- Pardé J. & Bouchon J. (1988). *Dendrométrie*, 2^e éd., École nationale des Eaux et Forêts de Nancy, 328 p.
- Pardé J. (1961). *Dendrométrie*, École nationale des Eaux et Forêts de Nancy, 350 p.
- Petit S. (2000). Environnement, conduite des troupeaux et usages de l'arbre chez les agropasteurs peuls de l'ouest burkinabè. Approche comparative et systématique de trois situations, Barani, Kourouma, Ouangolodougou. Thèse Université d'Orléans, 528 p.
- Poupon H. (1977). « Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : premières données sur *Commiphora africana* », *La Terre et la Vie*, n° 31 : pp. 127-132.
- Poupon H. (1980). *Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au Nord du Sénégal*, Paris, Orstom, 352 p. + carte (coll. *Travaux et Document*, n° 115).
- Pousset J.-L. (1989a). *Plantes médicinales africaines : Utilisation pratique*, A.C.C.T., 155 p.
- Pousset J.-L. (1989b). *Plantes médicinales africaines : Possibilités de développement*, A.C.C.T., 160 p.
- Renes G.J.B. (1991). « Regeneration capacity and productivity of natural forest in Burkina Faso », *For. Ecol. Manage.*, n° 41 : pp. 291-308.
- Rodin L.E. & Basilevich N.I. (1968). *Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire*, Unesco, *Recherches sur les ressources naturelles*, vol. V : pp. 45-52.
- Rondeux J. (1993). *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*, Les Presses agronomique de Gembloux, 521 p.
- Schreckenber K. (1996). *Forests, fields and markets : a study of indigenous tree products in the woody savannas of the Bassila region, Benin*, th., London, School of Oriental and African Studies, 326 p.
- Sène A., Dièye P.N. & Gningue M. (2000). « La jachère dans les systèmes agro-pastoraux de la Haute-Casamance : pratique, stratégies de valorisation, importance socio-économique », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 113-119.
- Serpantié G. et al. (1996). « Pratiques et enjeux de la culture du karité (*Butyrospermum paradoxum*) dans l'ouest du Burkina Faso », in Floret (éd., 1996) : pp. 59-72.
- Serpantié G. (1996a). « La production du karité (*Butyrospermum paradoxum*) des parcs arborés de l'ouest du Burkina Faso. Effets de différents mode de gestion », in Floret (éd., 1996) : pp. 73-80.
- Serpantié G. (1996b). « Rôle des jachères dans la production arborée non ligneuse en savane soudanienne : Cas du karité dans l'ouest du Burkina Faso », in Floret (éd., 1996) : pp. 55-58.
- Shinizaki K., Yoda K., Hozumi K. & Kira T. (1964). « A quantitative analysis of plant form : the pipe model theory », *Jap. J. Ecol.*, n° 14 : pp. 97-105 et pp. 133-139.
- 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., Paris-VI, 210 p.
- Somé N.A., Ouedraogo S.J. & Alexandre D.-Y. (2000). « Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes post culturels de la zone soudanienne (Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 422-430.
- Sow H. (1990). *Le bois-énergie au Sahel*, Paris, Karthala-A.C.C.T., 176 p.
- Vielajus J.L. (1984). Maîtrise de l'énergie dans les pays sahéliens. GRETE-GERES, 140 p.
- Whittaker R.H. & Marks P.L. (1975). « Methods of assessing terrestrial productivity », in Lieth & Whitaker (éd., 1975) : pp. 55-118.
- Wilson R.T., De Leeuw P.N. & De Haan C. (éd.) (1983). « Recherches sur les systèmes des zones arides du Mali : résultats préliminaires », Cipea, n°15, 188 p.
- Yossi H. et al. (1996). « Dynamique de la végétation ligneuse post-culturelle en zone soudanienne au Mali. Conséquences pour l'amélioration et la gestion de la jachère », in Floret (éd., 1996) : pp. 19-32.

- Zapfack L., Weise S.F., Ngobo M., Tchamou N. & Gillison A. (2000). « Biodiversité et produits forestiers non ligneux de trois types de jachères du Cameroun méridional », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 484-492.
- Zarnovican R. (1986). « La loi d'Eichhorn et les tables de production de l'épinette noire de l'est du Canada », *Forestry chronicle*, vol. LXII, n° 3 : pp. 170-174.

Les jachères fourragères naturelles et améliorées en Afrique de l'Ouest

François Achard*, Pierre Hiernaux**, Maxime Banoïn***

La jachère dans les terroirs des pays de savanes

Dans les terroirs d'Afrique de l'Ouest, les ressources fourragères, herbacées et ligneuses, proviennent de trois sources principales :

- les jachères ;
- les parcours situés sur les terres généralement impropres à la culture ou encore non défrichées ;
- les champs, où adventices et résidus de culture sont pâturés après la récolte lorsqu'ils ne sont pas récoltés et stockés pour affourager le bétail au cours de la saison sèche.

Les jachères et les parcours sont ouverts au bétail toute l'année ; ils sont particulièrement sollicités en saison des pluies quand les animaux sont éloignés des champs. Leur accès est généralement libre à tous alors qu'il y a des restrictions d'accès aux ressources fourragères des champs (Turner, 1992 ; Lane & Moorehead, 1995) ; ces dernières, d'autre part, sont de plus en plus souvent récoltées et stockées par l'exploitant (de Leeuw, 1997).

L'accroissement rapide des populations humaines et animales au cours des dernières décennies (Winrock International, 1992 ; United Nation, 1996 ; Banoïn & Guengant, 1998) a provoqué de profonds changements dans l'occupation des sols. Partout, on enregistre une extension rapide des surfaces cultivées. Au Niger, à Banizoumbou, les cultures sont passées de douze pour cent de la surface cultivable, en 1950, à soixante et onze pour cent, en 1991 (Delabre, 1998) ; à Bogodjotou, de vingt pour cent, en 1956, à quatre-vingt-sept pour cent, en 1996 (Bouzou Moussa, 1998). Au Burkina Faso, sur le plateau mossi, les surfaces cultivées ont été multipliées par 3,4 entre 1958 et 1979 (Ouabda, 1983) ; à Bondoukuy, le taux d'emprise des cultures sur les terres cultivables de plaine est passé de cinq pour cent, en 1952, à soixante-quinze pour cent, en 1997 (Serpantié *et al.*, 2000).

L'augmentation des surfaces cultivées a pour corollaire la réduction des surfaces et celle de la durée moyenne des jachères, ce qui entraîne une réduction et une fragmentation de l'espace pastoral. Associés à l'accroissement du cheptel, ces phénomènes ont pour conséquence, en saison des pluies, la concentration d'effectifs animaux de plus en plus élevés sur des surfaces pastorales de plus en plus réduites. La surcharge en bétail (Leloup & Traoré,

* Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), B.P. 11416, Niamey (Niger).

** International Livestock Research Institute (Ilri), centre sahélien de l'Icrisat, B.P. 12404, Niamey (Niger).

*** Faculté d'agronomie, université Abdou-Moumouni, B.P. 10960, Niamey (Niger).

1990) conduit à une réduction des productions herbeuses dans le court terme et, à plus long terme, à une modification de la végétation des jachères et de la succession végétale postculturelle. Sur les sols fragiles à texture limono-sableuse, la pâture intense peut également entraîner une compaction superficielle qui peut faciliter l'érosion (Nickling & Wolfe, 1994) et induire d'autres changements de la flore.

Dans cette situation d'évolution rapide, ce chapitre a pour objectif :

- d'évaluer le rôle fourrager des jachères actuelles, en partant de ce qui caractérise leur végétation ;
- d'examiner les options pour une amélioration fourragère des jachères ;
- de conclure sur la compatibilité de la fonction fourragère avec les autres fonctions des jachères : restauration de la fertilité des sols et production ligneuse.

La végétation des jachères

Caractéristiques de la végétation

La composition floristique de la végétation des jachères (tableau I) est influencée par le régime de disponibilité en eau dans les sols ; cette dernière est liée à la pluviosité, qui varie avec la latitude, à la redistribution des eaux de pluies à la surface des sols par ruissellement et aux propriétés hydriques des sols en fonction de leur texture et de leur teneur en matière organique (Cissé, 1986 ; Kaasschieter *et al.*, 1998). La disponibilité en eau dans les sols dépend aussi de l'âge de la jachère, de l'intensité de la pâture en saison des pluies et du régime des feux auxquels elle est soumise. La végétation des jachères est caractérisée par :

- la dominance des espèces annuelles ;
- la pénétration d'espèces qui proviennent de zones plus sèches ;
- l'abondance des dicotylédones ;
- le maintien ou l'augmentation de la richesse spécifique par rapport à celle des milieux peu perturbés.

Tableau I. Espèces herbacées caractéristiques des jachères et espèces ligneuses associées, par zone climatique (G = graminées, L = légumineuses, A = autres espèces), les taxons herbacés en gras sont pérennes.

Zone climatique * Pluviosité	Espèces herbacées	Espèces ligneuses	Références
Sahélienne	G <i>Eragrostis tremula</i> , <i>Chloris prieri</i>	<i>Acacia</i> spp.	Colin de Verdière (1995) Niger
300 à 500 mm	<i>Cenchrus biflorus</i> , <i>Aristida mutabilis</i> <i>Dactyloctenium aegyptiacum</i>	<i>Calotropis procera</i> <i>Guiera senegalensis</i>	Gent van & Moussa (1995) Niger De Miranda (1980) Niger
	L <i>Zornia glochidiata</i>	<i>Leptadenia pyrotechnica</i> <i>Balanites aegyptiaca</i> <i>Faidherbia albida</i>	Grouzis (1988) Burkina Faso
	A <i>Mitracarpus villosus</i> , <i>Sesamum alatum</i> <i>Tribulus terrestris</i>		

Tableau I (suite)

Zone climatique * Pluviosité		Espèces herbacées	Espèces ligneuses	Références
Sahélo-soudanienne à Soudano-sahélienne 500 à 700 mm	G	<i>Eragrostis tremula</i> , <i>Brachiaria xantholeuca</i> <i>Loudetia togoensis</i> , <i>Diheteropogon hagerupii</i> <i>Pennisetum pedicellatum</i> , <i>Ctenium elegans</i> <i>Schizachyrium exile</i> , <i>A. sieberiana</i>	<i>Guiera senegalensis</i> <i>Combretum glutinosum</i>	D'Hertès et Valentin (1997) Niger Malam Abou (1998) Niger Hiernaux (1999) Niger Renard <i>et al.</i> (1993) Niger Achard & Abou (1996) Niger Manzo (1996) Niger Cissé <i>et al.</i> (1993) Mali Diatta & Faye (1996) Sénégal
	L	<i>Zornia glochidiata</i> <i>Cassia mimosoides</i> et <i>C. tora</i>	<i>C. micranthum</i> <i>Annona senegalensis</i>	
	A	<i>Mitracarpus villosus</i> <i>Spermacoce radiata</i> et <i>stachydea</i> <i>Sida cordifolia</i> <i>Waltheria indica</i> <i>Phyllanthus pentandrus</i>	<i>Faidherbia albida</i>	
Nord-soudanienne 700 à 800 mm	G	<i>Eragrostis tremula</i> , <i>Brachiaria stigmatistata</i> <i>Schoenefeldia gracilis</i> <i>Diheteropogon hagerupii</i> <i>Andropogon pseudapricus</i> , <i>Loudetia togoensis</i> <i>Pennisetum pedicellatum</i>	<i>Combretum micranthum</i> <i>Guiera senegalensis</i>	Donfack (1993) Cameroun Yossi & Dembélé (1993) Mali Kodio (1985) Mali Karembé <i>et al.</i> (1998) Mali Achard (1993) Burkina Faso Zoungrana (1993) Burkina Faso
	L	<i>Zornia glochidiata</i> <i>Tephrosia</i> sp. – <i>Indigofera</i> sp.	<i>Piliostigma</i> sp. <i>Parkia biglobosa</i>	
	A	<i>Mitracarpus villosus</i> <i>Spermacoce stachydea</i> <i>Cleome viscosa</i>	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Faidherbia albida</i>	
Soudanienne 800 à 1 100 mm	G	<i>Eragrostis tremula</i> , <i>Dactyloctenium aegyptium</i> <i>Andropogon pseudapricus</i> , <i>Loudetia togoensis</i> <i>Pennisetum pedicellatum</i> , <i>Ctenium elegans</i> <i>Andropogon gayanus</i> , <i>A. ascinodis</i>	<i>Terminalia avicennoides</i> <i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Faidherbia albida</i> <i>Guiera senegalensis</i> <i>Annona senegalensis</i> <i>Dichrostachys cin.</i>	Fournier (1994) Burkina Faso Chevalier (1994) Burkina Faso Devineau <i>et al.</i> (1997) Burkina Faso Diallo (1997) Burkina Faso Diarra <i>et al.</i> (1993) Mali Diop (1993) Sénégal Akpo <i>et al.</i> (2000) Sénégal
	L	<i>Zornia glochidiata</i> <i>Cassia mimosoides</i> <i>Tephrosia</i> sp.	<i>Securinega virosa</i>	
	A	<i>Mitracarpus villosus</i> <i>Spermacoce stachydea</i> et <i>radiata</i>		

Tableau I (fin)

Zone climatique * Pluviosité	Espèces herbacées	Espèces ligneuses	Références
Soudano-guinéenne G 1 100 à 1 400 mm	<i>Eragrostis tremula</i> <i>Pennisetum</i> spp., <i>Digitaria longiflora</i> <i>Cymbopogon schoenanthus</i> <i>Andropogon gayanus</i> <i>Schizachyrium sanguineum</i> <i>Hyparrhenia dissoluta</i> <i>Imperata cylindrica</i>	<i>Daniella olivieri</i> <i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Faidherbia albida</i> <i>Guiera senegalensis</i>	Mitja (1990) César & Zoumana (1993) Blanfort (1991) Diop (1993) Côte-d'Ivoire Côte-d'Ivoire Sénégal Sénégal
	L <i>Zornia glochidiata</i> <i>Tephrosia</i> spp.	<i>Dichrostachys cin.</i> <i>Nauclea latifolia</i>	
	A <i>Mitracarpus villosus</i> <i>Spermacoce verticillata</i>		

* D'après Aubréville, 1949.

La dominance des espèces annuelles

D'après Hoffmann (1985), la dominance des espèces annuelles constitue la différence marquante entre milieux perturbés et milieux naturels en zone de savane soudanienne. Mis à part les espèces vivaces à multiplication végétative telles que *Imperata cylindrica* ou *Launea cornuta*, dont la diffusion est favorisée par le travail du sol, dans la majorité des cas, les graminées vivaces de savane, et en particulier *Andropogon gayanus*, sont souvent éliminées lors des défrichements et des sarclages ; à la mise en jachère, leur population a du mal à se reconstituer à cause du manque de semenciers et du fait que leurs semences ont une faible capacité germinative (Bowden, 1964 ; Dieng *et al.*, 1991 ; Serpantié & Madibaye, 1998). En revanche, de nombreuses espèces annuelles sont bien adaptées aux conditions culturales : production de grande quantité de semences à forte capacité germinative (Le Bourgeois & Merlier, 1995) ; germination tardive ou échelonnée, et (ou) réalisation de plusieurs cycles végétatifs tout au long de la saison des pluies. Elles développent leur population lors des cycles culturaux et constituent les populations d'adventices des champs qui sont à l'origine de la végétation des jachères (César & Zoumana, 1993 ; Chikoye *et al.*, 1997). Certaines espèces pérennes peuvent également être des pionnières, soit parce que quelques pieds sont conservés dans les champs – volontairement (*A. gayanus*), ou involontairement (*Imperata cylindrica*) –, soit par le mode de dispersion de leurs diaspores (*Aristida sieberiana* ou *Pergularia tomentosa*, par exemple, en zones sahéliennes).

L'abondance des dicotylédones

Des dicotylédones telles que *Mitracarpus villosus*, *Zornia glochidiata*, *Spermacoce* spp., *Cassia* spp., *Cleome viscosa*, *Jacquemontia tamnifolia*, *Sida cordifolia*, *Walteria indica*, rares en savane, prennent une grande importance dans les jachères, surtout lorsque ces dernières sont intensément pâturées en saison des pluies (Hoffman, 1985 ; Blanfort, 1991 ; César, 1992 ; Chikoye *et al.*, 1997). Ainsi Hoffman (1985) trouve des taux de phorbes de 50,5 pour cent dans une jachère du pays lobi, au Burkina Faso, alors que, dans les savanes voisines, ce taux est compris entre trois et quatorze pour cent. Cependant, la végétation des jachères peut aussi être dominée par des graminées telles que : *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Pennisetum* spp., *Imperata cylindrica*...

La pénétration d'espèces provenant de zones plus sèches

Les taxons qui s'installent après l'abandon cultural sont d'abord les adventices des cultures, déjà en place, et souvent aussi des espèces de milieux plus secs (Bremen & de Ridder, 1991 ; Yossi, 1996 ; Koita, 1998). Dans les jachères du Sahel méridional, c'est le cas de graminées telles que *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, mais aussi de dicotylédones, en particulier des composées comme *Blumea mollis*, *Centaurea* sp., et des sous-ligneux tels que *Chrozophora senegalensis*, *Pergularia tomentosa*, *Leptadenia pyrotechnica*, *Calotropis procera*, tous issus de la flore nord-sahélienne (de Miranda, 1980). Dans les jachères de Gampéla (zone nord-soudanienne), aux environs de Ouagadougou, Achard (1993) note que vingt pour cent des taxons herbacés inventoriés appartiennent à la flore sahéenne ou sahélo-soudanienne. Il en est de même pour les ligneux tels que *Balanites aegyptiaca*, *Commiphora africana*, *Ziziphus mauritiana* (Devineau, 1986 ; Achard, 1993). César (1992), dans les jachères de la région de Korogho (nord de la Côte-d'Ivoire) enregistre lui aussi l'apparition de nombreuses espèces sahéennes, soit ligneuses, telles que *Ziziphus mauritiana*, *Bauhinia rufescens*, *Piliostigma reticulatum*, soit herbacées, telles que *Tribulus terrestris*, *Cenchrus biflorus*... Cet auteur, comme Achard (1993) et Floret & Pontanier (1984), précise que l'aridité édaphique, liée à la détérioration des états de surface du sol, expliquerait cette intrusion d'une flore des zones plus sèches. Enfin, Kiéma (1992) et Fournier (1994) observent que certaines jachères soudanienues sur sols profonds de la région de Bondoukuy, au Burkina Faso, sont colonisées par *Cenchrus biflorus* et par *Calotropis procera*, de même que par *Loudetia togoensis*, alors que cette espèce, soudano-sahélienne, est naturellement localisée dans cette région sur les sols squelettiques dans les formations du pyroclimax.

Le maintien ou l'augmentation de la richesse spécifique

La végétation des jachères, particulièrement lorsqu'elles sont intensivement pâturées en saison des pluies, est souvent dominée par une seule espèce ou par un très petit nombre d'espèces, qui représentent entre cinquante et quatre-vingt-dix pour cent de la contribution spécifique. Ce peut être par exemple : *Zornia glochidiata*, *Mitracarpus villosus* ou *Sida cordifolia*, au Niger (Banoïn & Achard, 1998 ; Delabre, 1998) ; *Pennisetum pedicellatum*, *Setaria pallidifusca*, *Spermacoce stachydeae*, *Digitaria horizontalis* ou *Dactyloctenium aegyptium*, en zone soudanienne du Burkina Faso (Fournier *et al.*, 2000) ; *Zornia glochidiata* et *Digitaria longiflora*, en Côte-d'Ivoire (César & Zoumana, 1993).

Dans ces jachères, malgré la surexploitation, on enregistre, dans la majorité des cas, un maintien ou une augmentation de la richesse floristique herbacée par rapport à celle enregistrée dans les formations peu perturbées. Cela a été observé dans des jachères surpâturées du Sud du Niger (Hiernaux, 1998 ; Achard *et al.*, 2000), de même au Burkina Faso (Fournier *et al.*, 2000) ou en Côte-d'Ivoire (César, 1992 ; Zoumana *et al.*, 1994). Hiernaux (1998) note, sur des jachères envahies par *Sida cordifolia*, représentant à elle seule quarante-six à soixante-quatorze pour cent du couvert herbacé entre 1994 et 1996, que le nombre d'espèces herbacées inventoriées sur une superficie de deux mille quarante-huit mètres carrés s'est maintenu entre quarante et quarante-trois selon les années. En 1999, Achard *et al.* (2000) relèvent quarante-neuf espèces, sur mille deux cents mètres carrés, sur d'autres jachères à *Sida cordifolia*. Ces effectifs sont comparables à ceux des jachères voisines, soumises à une pâture modérée (34 à 50), et même à ceux d'une jachère protégée de toute pâture depuis une quinzaine d'années (45 à 49).

Les observations floristiques sur des surfaces physionomiquement homogènes, réalisées par Fournier *et al.* (2000), sur un échantillon de cinquante-huit jachères de un à cinq ans, donnent une richesse floristique moyenne de 40,8 *plus ou moins* 8,9 espèces herbacées et 5,4 *plus ou moins* 2,1 espèces ligneuses. Cet auteur précise que ces valeurs ne diffèrent pas beaucoup de celles des milieux de savane peu anthropisés. En revanche, Akpo *et al.* (2000),

en Casamance, n'ont inventorié qu'une vingtaine d'espèces dans des jachères de trois et cinq ans.

Enfin, en Côte-d'Ivoire, César (1992) et Zoumana *et al.*, (1994) remarquent que les perturbations affectant des milieux de savane « en équilibre » conduisent à la diminution de certaines espèces, mais aussi à l'ouverture du milieu à de nombreuses autres qui appartiennent à des cortèges différents. Ainsi César (1992) inventorie, sur des stations d'environ deux mille mètres carrés situées sur de jeunes jachères, une richesse floristique globale de soixante-huit à quatre-vingt-dix-neuf espèces, alors que dans les savanes voisines, peu perturbées, ce nombre se situe entre trente-trois et quarante-six espèces.

La structure spatiale de la végétation des jachères

La distribution spatiale de la végétation des jachères est d'abord marquée par l'héritage des cycles culturaux qui déterminent la densité et l'arrangement des plantes ligneuses (espacement des arbres du parc, haie bordière...), mais aussi le microrelief selon que le champ a été labouré à plat ou en billons, butté ou seulement sarclé. La gestion de la fertilité des sols par des apports localisés d'engrais, de fumier ou d'autres matières organiques ainsi que les aménagements antiérosifs effectués au cours des cycles culturaux sont tous à l'origine d'une hétérogénéité édaphique qui peut persister longtemps après l'abandon cultural (Mitja, 1990). Si les premiers stades de la jachère sont marqués par cet héritage et par le développement rapide des adventices et des espèces pionnières, la large dominance d'un petit nombre d'espèces qui en résulte n'empêche pas la mise en place d'une hétérogénéité par plages (Hiernaux & Fernández-Rivera, 1995). En revanche, il ne semble pas y avoir de modèle général pour la structure de la strate herbacée aux stades ultérieurs de la jachère, si ce n'est l'individualisation croissante de plages de végétation sciaphylle qui accompagne le développement des plantes ligneuses avec l'âge de la jachère. Comme pour les savanes naturelles, l'homogénéité de la strate herbacée, et la dominance des graminées, est renforcée par le passage régulier des feux (Dembélé *et al.*, 1997). De même, l'effet de la pâture sur la structure de la strate herbacée varie avec la saison et avec l'intensité de la pâture. Une pâture intense en saison des pluies favorise le développement contagieux d'un petit nombre d'espèces plus tolérantes (*Zornia glochidiata*, *Tribulus terrestris*) ou résistantes (*Sida cordifolia*, *Cassia mimosoides*, *C. obtusifolia*) à la pression de pâture, y compris des ligneux dans le cas d'embroussaillage (*Dichrostachys glomerata*, *Chromolaena odorata*). Si la pression de pâture persiste, la strate herbacée tend à s'homogénéiser par la dominance généralisée de ces espèces. En revanche, Hiernaux (1998) a observé au Niger qu'une pâture modérée en saison des pluies, ou plus intense mais en saison sèche seulement, atténue la distribution contagieuse des espèces qui résultait d'une mise en défens (Renard *et al.*, 1993 ; Miehle, 1998) ou d'une pâture intense, tout en favorisant la microhétérogénéité et la diversité de la strate herbacée.

Dynamique de la végétation herbacée

La composition de la strate herbacée des jachères varie suivant le gradient climatique du Sahel à la zone soudano-guinéenne, mais aussi selon le substrat édaphique, les pratiques culturales antérieures et l'âge de la jachère (Dembélé *et al.*, 1997 ; Fournier *et al.*, 2000).

Un premier stade marqué par le développement des adventices

Au cours des deux premières années, les dicotylédones sont en général abondantes. Les espèces dominantes les plus souvent rencontrées sont : *Mitracarpus villosus*, *Zornia glochidiata*, *Leucas martinicensis*, *Corchorus tridens*, *Commelina* spp. *Jacquemontia tamnifolia*, *Phyllanthus pentandrus*, *Cleome viscosa*, *Hyptis* spp. Les graminées sont souvent représen-

tées par des espèces de petite taille, peu productives, comme *Dactyloctenium aegyptium*, *Brachiaria brizantha*, *Digitaria horizontalis*, *Setaria pallidifusca*, *Schizachyrium exile*, *Rhynchelitrum repens*, mais parfois par des espèces plus agressives comme *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Pennisetum pedicellatum*, qui peuvent fournir une biomasse importante, ou *Imperata cylindrica*, issue de la flore messicole, abondante dans les premiers stades et entretenue ou diffusée ensuite par les feux.

Un second stade qui varie avec l'utilisation de la jachère

Si la pâture de saison des pluies n'est pas trop intense, les graminées annuelles à cycle moyen ou long, dont la production est assez élevée à élevée, s'installent entre la troisième et la huitième année de la jachère. En zone sahélienne, il s'agit de *Schoenefeldia gracilis*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*; en zone sahélo-soudanienne, de *Ctenium elegans*, *Loudetia togoensis*, *Diheteropogon hagerupii*, *Pennisetum pedicellatum*; en zone nord-soudanienne à soudano-guinéenne, de *Loudetia togoensis*, *Andropogon pseudapricus* et divers *Pennisetum*. Quand la pauvreté ou l'épuisement des sols ne sont pas trop élevés, cette évolution est accompagnée par endroits d'un développement d'herbacées vivaces, en particulier de *A. gayanus*, si des semenciers ont été conservés en bordure des champs. Dans la zone soudano-guinéenne, cela peut aussi être *Hyparrhenia dissoluta*, qui remplace *A. gayanus* sur les sols sableux (César & Zoumana, 1993); *Imperata cylindrica*, qui se répand sur des sols peu fertiles ou lorsque des défrichements mécaniques ont été pratiqués (Mitja, 1990); *Pennisetum purpureum*, sur des sols plus humides ou plus fertiles (Audru, 1972).

En revanche, lorsque la pâture de saison des pluies est intense, la végétation herbacée peut évoluer dans deux directions :

- blocage de la succession végétale aux stades jeunes avec une végétation à base d'espèces de petite taille, peu productives, qu'elles soient bonnes fourragères comme *Zornia glochidiata*, *Brachiaria xantholeuca*, moyennement appréciées comme *Spermacoce radiata* ou *S. stachydea*, ou peu recherchées par le bétail, comme *Mitracarpus villosus* (César, 1992; Kiéma, 1992; Achard & Abou, 1996);
- et (ou) envahissement par des espèces de plus grande taille, plus productives, peu ou pas appréciées, qui contribuent à plus de la moitié de la masse végétale. Les plus fréquentes sont *Sida cordifolia*, *Waltheria indica*, *Cassia mimosoides*, *C. obtusifolia*, *Hyptis suaveolens*, *Sporobolus pyramidalis*, (César, 1992; Achard & Abou, 1996; Banoïn & Achard, 1998; Hiernaux, 1998).

Dynamique successionnelle ou « non-équilibre » ?

L'évolution de la strate herbacée en stades définis par l'âge de la jachère et influencés par la pâture, par les coupes et les feux, peut être progressive, conformément au modèle successional (Clements, 1936; Whittaker, 1953; McCook, 1994), ou plus irrégulière. Elle est alors marquée par des changements de flore brutaux et parfois contraires à l'ordre attendu de la succession. L'envahissement brutal et généralisé, en 1998, de vieilles jachères de l'Ouest nigérien par *Cassia mimosoides* ou par *Mitracarpus villosus*, quel que soit le régime de pâture, en fournit un exemple (Hiernaux & Fernández-Rivera, 1999) parmi d'autres observés sur les parcours sahéliens (Bremen & Cissé, 1977; Grouzis 1988). Ce comportement est conforme au modèle du « non-équilibre » qui privilégie l'influence d'événements climatiques sur la dynamique de la végétation (Ellis & Swift, 1988; Westoby *et al.*, 1989; Behnke & Scoones, 1993). Cependant, de tels changements brutaux de la flore peuvent aussi être provoqués par le mode de gestion. Les contrastes spectaculaires et soudains de la végétation de part et d'autre d'une clôture installée pour soumettre une jachère à différents régimes de pâture en apportent la preuve (Hiernaux & Fernández-Rivera, 1995; Miehle, 1998). Des contrastes du même type ont pu également être observés de part et d'autre de la limite

d'extension d'un feu passé la saison précédente (Cissé, 1986). Il semble que de tels changements brutaux n'interviennent que lorsque la perturbation qu'ils accompagnent dépasse un seuil d'intensité (Friedel, 1994) ou que son influence se conjugue à celles de circonstances climatiques ou édaphiques particulières, ce qui les rend difficiles à prédire (Illius & O'Connor, 1999). Enfin, les deux types de comportement dynamique ne s'excluent pas. Comme l'autorise le modèle numérique proposé par Rietkerk *et al.* (1996), une même jachère peut soit suivre une évolution successionnelle, soit présenter un ou plusieurs accidents dynamiques au gré des circonstances environnementales.

Dynamique du peuplement ligneux au cours de la jachère

Le peuplement ligneux de la jachère se compose en général de trois éléments :

- quelques arbres ou grands arbustes qui ont été épargnés lors des défrichements ;
- une strate buissonnante plus ou moins dense, constituée par des rejets de souches ou par de jeunes plants des diverses espèces rabattues au moment des défrichements annuels, dont le développement est permis par l'abandon de la culture ;
- parfois une population d'essences pionnières qui s'implante à ce moment-là.

En zone sahélienne, la strate arborée est représentée par *Acacia raddiana*, *A. laeta*, *A. senegal*, *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* ; la strate des rejets buissonnants est dominée par *A. raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, mais aussi par *Guiera senegalensis* (van Gent & Moussa, 1995). Enfin, parmi les espèces pionnières, ligneuses et sous-ligneuses, qui s'installent sur les sables dénudés dès les premiers stades après l'abandon cultural, grâce à leur diaspores transportées par le vent, on trouve *Calotropis procera*, *Leptadenia pyrotechnica*, *L. hastata* et *Pergularia tomentosa* (de Miranda, 1980).

De la zone sud-sahélienne à la zone soudanienne, la strate arborée se diversifie avec, à côté de *Faidherbia albida* et *Combretum glutinosum*, des peuplements de *Sclerocarya birrea*, *Cordyla pinnata*, *Adansonia digitata*, *Prosopis africana*, *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa*. La strate buissonnante est dominée par des Combrétacées, en particulier par *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum*, et par des espèces telles que *Piliostigma* spp. (Achard, 1993 ; Diop, 1993 ; Diallo, 1997). Les espèces pionnières sont représentées par *Dichrostachys glomerata* et *Acacia macrostachya*.

Conclusions : caractéristiques et lignes dynamiques communes aux jachères des pays de savanes

Malgré l'étendue du gradient climatique de la zone étudiée, avec des pluviosités annuelles de trois cents à mille quatre cents millimètres et une durée de la saison des pluies de soixante à deux cents jours, la végétation des jachères se reconnaît à une série de caractères communs typiques, tant de la structure des peuplements ligneux que de la composition biomorphologique de la strate herbacée, et même de sa composition spécifique. Cinq espèces sont abondantes du nord au sud du transect ; il s'agit de deux graminées : *Eragrostis tremula* et *Dactyloctenium aegyptium*, de deux dicotylédones : *Mitracarpus villosus* et *Zornia glochidiata*, et d'un arbuste : *Guiera senegalensis*.

Zornia glochidiata est une petite légumineuse herbacée peu productive qui pousse sur sols sableux et sablo-limoneux. Rencontrée en général dans les premiers stades des jachères, elle peut être très abondante dans les jachères surpâturées de tous âges en saison des pluies (De Miranda, 1980 ; Breman, 1982 ; Bille, 1992 ; César, 1992 ; Banoïn & Achard, 1998).

Guiera senegalensis constitue des peuplements arbustifs presque purs dans les zones sahéliennes (Achard & Abou, 1996 ; Delabre, 1998). Il est présent également dans les jachères âgées nord-soudanienues (Achard, 1993 ; Donfack, 1993 ; Zoungana, 1993) ou soudanienues (Chevalier, 1994 ; Yossi, 1996 ; Koita, 1998), seul ou en association avec

Piliostigma spp., *Combretum micranthum*, *Dichrostachys cinerea*. C'est une espèce arbus-tive, qui rejette vigoureusement de souche, capable de supporter des coupes répétées à chaque défrichement annuel, mais aussi à chaque sarclage pendant la période de culture (Louppe, 1991 ; Renard *et al.*, 1993 ; Achard & Abou, 1996 ; d'Herbès & Valentin, 1997).

Productions herbacées et ligneuses de la jachère

Production herbacée

Au Sahel, la phytomasse maximale herbacée⁽¹⁾ donne une assez bonne estimation de la partie aérienne de la production herbacée à cause de la brièveté de la saison de croissance et du faible taux de décomposition organique au cours de cette période (Bille, 1976).

En zone soudanienne ou soudano-guinéenne, ce pic de végétation n'est pas toujours une bonne approximation de la production herbacée pour trois raisons :

- les pertes par décomposition au cours de la saison des pluies sont d'autant plus élevées que la matière végétale morte est plus abondante et que le climat est plus humide (Fournier, 1991) ;
- les maxima de phytomasse des espèces à cycles court, moyen ou long, se succèdent et ne coïncident donc pas avec la mesure en fin de saison de croissance (Hoffmann, 1985 ; Fournier, 1991 ; César, 1992) ;
- enfin, chez les graminées pérennes, il y a translocation des carbohydrates et des minéraux vers les racines en fin de cycle (Abbadie, 1984 ; César, 1992). Ainsi Fournier (1994), à Bondoukuy, observe que la phytomasse maximale ne représente en moyenne que soixante-seize pour cent de la production herbacée annuelle.

Les facteurs de production herbacée

Comme les caractéristiques de la végétation la production herbacée des jachères est fonction de la pluviosité et du régime hydrique du sol, de l'âge de la jachère et de l'intensité de son exploitation. La production est également influencée par la composition floristique, en particulier par les proportions relatives de plantes herbacées annuelles et vivaces, des graminées et des dicotylédones, des plantes dont la photosynthèse est de type C3 et de type C4, des plantes annuelles à cycle court ou long (Bremner *et al.*, 1982-a ; Penning de Vries, 1982).

La pluviosité

Du nord au sud du gradient bioclimatique, l'accroissement de la production herbacée des jachères (tableau I) est lié à l'augmentation de la pluviosité (Hiernaux *et al.*, 1999). Celle-ci croît dans un rapport de 1 à 4,5 du Sahel à la zone soudano-guinéenne, alors que la production herbacée moyenne varie respectivement de mille cinq cents à cinq mille kilogrammes de matière sèche par hectare, soit un rapport de un à trois. Les phytomasses enregistrées en années de pluviosité proche de la normale, sur des parcelles mises en défens en début de saison des pluies, fluctuent, en fonction du niveau d'exploitation antérieur de la jachère, entre sept cents et deux mille trois cents kilogrammes de matière sèche par hectare, au Sahel ; mille à cinq mille kilogrammes de matière sèche par hectare, dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne. Notons que les phytomasses mesurées sur des jachères peu dégradées, ou en voie de restauration, avec une végétation à base de graminées vivaces : *A. gayanus* ou *Andropogon chinensis*, peuvent être proches de celles des jachères dégradées à annuelles.

(1) Le terme *phytomasse* employé dans le texte sans précision se rapporte à la phytomasse aérienne herbacée.

Banoin & Achard (1997), en zone soudano-sahélienne, Fournier (1994), en zone soudanienne, César (1992) et César & Zoumana (1993), en zone soudano-guinéenne, annoncent respectivement des valeurs de deux mille huit cents, trois mille huit cents et mille neuf cent soixante kilogrammes de matière sèche par hectare pour des jachères à *A. gayanus* de six à dix ans, et d'environ quatre mille kilogrammes de matière sèche par hectare pour de très vieilles jachères à *A. chinensis* (ex *A. ascinodis*), alors que les valeurs mesurées sur des jachères à *Loudetia togoensis* et *Zornia glochidiata* (Niger), ou *Spermacoce radiata* et *Cassia mimosoides* (Burkina Faso) se situent entre trois mille trois cents et trois mille sept cents kilogrammes de matière sèche par hectare. Pour les zones nord-soudaniennes et soudano-guinéennes César (1992) et Achard (1993) montrent que l'élément déterminant dans la variation inter-annuelle de la phytomasse est plus lié à la distribution des pluies qu'à la pluviosité totale. À l'échelon d'une même station, la phytomasse maximale peut varier dans un rapport de 1 à 1,5 ou 2,5 selon les années (César, 1992; Achard, 1993; Inhaber, 1998; Fournier, 1994). Les variations sont d'autant plus faibles que la pluviosité moyenne est plus élevée (Bremen & De Ridder, 1991).

L'âge de la jachère et le développement des ligneux

La production herbacée des jachères est fonction du régime hydrique du sol, qui dépend lui-même de la pluviosité et de la redistribution des eaux de pluies dans le profil du sol due au ruissellement et au drainage. Celle-ci est liée à la position topographique, aux états de surface des sols de la jachère et des sites en amont, ainsi qu'aux propriétés physiques des sols. La production est aussi influencée par la composition floristique, en particulier par les proportions relatives de plantes herbacées annuelles et vivaces, des graminées et des dicotylédones, des plantes dont la photosynthèse est de type C3 et de type C4, des plantes annuelles à cycle court et long (Penning de Vries, 1982; Bremen *et al.*, 1982-a).

Systèmes de culture et intensité de l'exploitation de la jachère

La production herbacée dépend du mode d'exploitation de la jachère, en particulier de l'intensité de la pâture en saison des pluies. Elle dépend aussi de la durée et du rythme des cycles culture-jachère et de l'épuisement des sols. Enfin, elle est liée aux pratiques culturales antérieures à la jachère : rythmes de rotation jachère-culture (Fournier *et al.*, ce volume), type de labour (Mitja, 1990), application de fumure, gestion des résidus de culture, élimination systématique (ou au contraire protection) des graminées vivaces telles que *A. gayanus*, lors des défrichements et des sarclages.

L'effet d'une pâture intense de la strate herbacée au cours de la saison de croissance se manifeste le plus souvent par une modification de la végétation, et une réduction de la production herbacée par rapport à la production des formations antérieures à la perturbation causée par le surpâturage. En zone soudano-sahélienne, Hiernaux & Fernández-Rivera (1995), au centre sahélien de l'Icrisat (*International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics*), observent que les rendements des jachères intensément pâturées sont inférieurs de vingt à trente pour cent à ceux enregistrés sur jachères avec charge modérée ou en défens. Banoin & Achard (1997) enregistrent, en 1997, des phytomasses maximales de mille deux cent cinquante kilogrammes de matière sèche par hectare dans des jachères très dégradées à *Zornia glochidiata*, âgées de six à quinze ans, alors qu'elles atteignent deux mille cinq cents kilogrammes de matière sèche par hectare dans celles à *Loudetia togoensis* et *Zornia glochidiata* situées sur les mêmes sols, et qui subissent une intensité de pâture moindre. En zone soudano-guinéenne, César & Zoumana (1993) mesurent, en 1989, des phytomasses maximales qui varient respectivement dans un rapport de 1 à 3,5 sur une jachère dégradée, une jachère en cours de restauration, une jachère ancienne non dégradée et une savane reconstituée (figure 1).

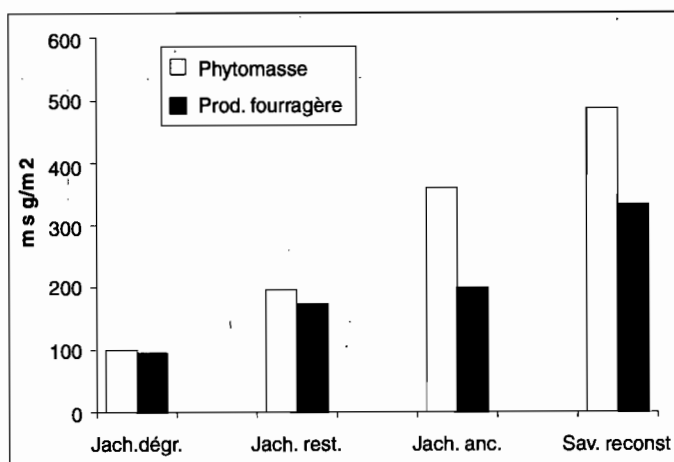


Figure 1. Phytomasse en fin de cycle et production fourragère annuelle cumulée des repousses après coupe dans 4 formations : jachères dégradée, restaurée, ancienne et savane reconstituée, de la région de Korhogo (César & Zoumana, 1993).

Dans certains cas, il n'y pas de diminution de la production avec la pâture. Fournier (1994), par exemple, ne trouve pas ou peu de différences entre la production herbacée des jachères de la région soudanienne de Bondoukuy, au Burkina Faso, et celle des savanes peu anthropisées du sud du pays. Cet auteur précise cependant qu'il est délicat de comparer des données obtenues dans des endroits différents lors d'années différentes. Il faut noter aussi que la production herbacée des savanes est en général fortement concurrencée par le développement des ligneux, ce qui n'est pas le cas dans les jachères jeunes.

En outre, quand le surpâturage aboutit au développement de plantes envahissantes telles que *Sida cordifolia* ou *Cassia mimosoides* (Achard *et al.*, 1999; Hiernaux & Fernández Rivera, 1999), on peut observer des phytomasses bien supérieures à celles couramment enregistrées dans les formations peu perturbées. Achard *et al.* (*à paraître*), en zone sahélo-soudanienne, ont mesuré une phytomasse de sept mille quatre cent soixante *plus ou moins* mille quatre cent quatre-vingt-dix kilogrammes de matière sèche par hectare sur une jeune jachère à *Sida cordifolia*, c'est-à-dire 2,6 fois plus que les phytomasses maximales enregistrées sur des jachères voisines à *A. gyanus*.

La dynamique saisonnière de la croissance

Une brève saison de croissance pour les annuelles

La durée de la croissance est contrôlée par la date d'arrivée des premières pluies, la distribution des précipitations au début de la saison des pluies et par le régime hydrique des sols. Les annuelles ne germent et ne s'installent qu'avec les premières pluies utiles. La plupart d'entre elles meurent à la fin du cycle saisonnier dont les dates sont en partie liées au régime hydrique des sols (les années où les pluies sont déficitaires en fin de saison), et en partie à la sensibilité à la photopériode, qui pour beaucoup d'espèces préside à l'initiation florale (Bremner *et al.*, 1982-a; Hiernaux, 1984; Fournier, 1991; Achard, 1992; Seghieri *et al.*, 1994). C'est en particulier le cas de la plupart des graminées annuelles dont la floraison est déclenchée courant septembre, quelles que soient les pluies (Bremner *et al.*, 1982-a; Cissé, 1986). Mis à part la zone sahélienne, où elle ne démarre généralement pas avant la mi-juillet, la croissance débute à peu près simultanément dans les autres zones au début du

mois de juin, malgré des pluviosités fort différentes (Banoïn & Achard, 1997; César 1992; Achard, 1993). La durée totale de la croissance varie de deux mois (15 juillet-15 septembre) en zone sahélienne à quatre à cinq mois en zones soudano-sahélienne à soudano-guinéenne, où la phytomasse maximale est atteinte entre fin septembre et fin octobre (César, 1992; Achard, 1993; Fournier, 1994).

Un lent démarrage de la croissance

Dans des jachères à annuelles, à Banizoumbou, Hiernaux *et al.* (1998) ont mesuré des productions herbacées de vingt-cinq à trente-cinq kilogrammes de matière sèche par hectare au cours de la première semaine de juillet, un mois après le début des pluies. Lors d'années à pluviosité proche de la moyenne et aux pluies assez bien réparties, Achard (1993) et Banoïn & Achard (1997) ont enregistré au début du mois d'août, à Ticko en 1996 (pluviosité de 598 mm) et à Gampéla en 1986 (pluviosité de 712 mm), des productions qui ne dépassaient pas quatre cent kilogrammes de matière sèche par hectare, deux mois après le démarrage de la végétation (figure 2). En revanche, Fournier (1996), à Bondoukuy, remarque la précocité relative du développement de la végétation des jachères. Cet auteur a observé, à la fin du mois de juin 1992, après les premières pluies qui ont eu lieu le 22 avril, des productions de neuf cent soixante et mille sept cent seize kilogrammes de matière sèche par hectare sur des jachères de trois et quatre ans avec un couvert de *Eragrostis tremula* et *Dactyloctenium aegyptium* dans le premier cas et de *Spermacoce radiata* et *Cassia mimosoides* dans le second.

Dans les jachères à vivaces, le démarrage de la végétation est un peu plus rapide, du fait que le peuplement est déjà installé, mais les productions au début de la phase de croissance restent modestes. Achard (1993) et Fournier (1996) ont mesuré deux mois après le début des pluies, sur des jachères à *A. gayanus*, des productions comprises entre sept cents et mille trois cents kilogrammes de matière sèche par hectare.

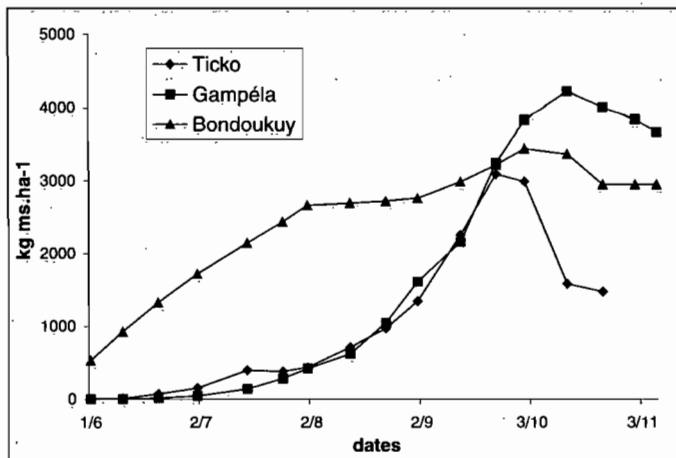


Figure 2. Évolution de la phytomasse herbacée dans une jachère à *Zornia glochidiata* située en zone soudano-sahélienne (Ticko, 1996), dans une jachère à *Loudetia togoensis* et *Andropogon pseudapricus* en zone nord-soudanienne (Gampéla, 1986), et dans une jachère à *Spermacoce radiata* et *Cassia mimosoides*, en zone soudanienne (Bondoukuy, 1992).

Un maximum de phytomasse entre septembre et octobre

Quelle que soit la zone climatique, la diminution de la phytomasse sur pied dans les jachères à dominante d'annuelles est rapide une fois passé le maximum de fin de saison de croissance. Elle est due à la dispersion des semences qui peuvent constituer cinq à vingt pour cent de la phytomasse sur pied à maturité (Breman *et al.*, 1982-a ; Diarra 1983 ; Cissé, 1986 ; Grouzis, 1988 ; Fournier, 1991). Elle est liée également à la consommation des organes aériens par les insectes, y compris les termites fourragers, très actifs à cette saison, ou à la chute des feuilles qui accompagne la senescence chez de nombreuses dicotylédones telles *Zornia glochidiata*, *Cassia mimosoides*, *Sida cordifolia*. En outre, même si de nombreuses espèces continuent à mener une vie ralentie tant que le stock d'eau du sol n'est pas épuisé, entre octobre et février, leur production, extrêmement basse, ne compense pas la dégradation de la phytomasse sur pied. La dégradation naturelle des herbacées sur pied, hors pâture par les ruminants domestiques, peut atteindre de quarante à cinquante pour cent de la phytomasse maximale en quatre-vingt-dix à cent quatre-vingts jours (Achard, 1993 ; Fournier, 1994 ; Banoïn & Achard, 1997) jusqu'à soixante-dix pour cent (Hiernaux *et al.* (1995-a). Dans une jachère à *Zornia glochidiata* et *Brachiaria xantholeuca* mise en défens, ces derniers auteurs observent même une perte de matière végétale sur pied de soixante pour cent dans les deux mois qui suivent le maximum.

La production fourragère

La production fourragère est la fraction de la production qui est consommable par le bétail. Pour les herbacées, elle dépend de la production primaire, de l'appétibilité des espèces, et de l'intensité de l'exploitation du pâturage en saison des pluies. Rappelons, avec Boudet (1984) et César (1992), que l'appétibilité est un critère relatif qui fluctue avec la nature et la période d'exploitation des ressources fourragères et avec l'espèce animale. À leur tour, les fourrages effectivement consommés par le bétail ne constituent qu'une fraction de la production fourragère. Cela est lié à la sélection qu'opère le bétail, à la dégradation de la litière par le piétinement (Ayantunde *et al.*, 1998), à la concurrence des autres herbivores (insectes) et, enfin, aux feux qui consomment une large part de la production herbacée des jachères soudanaises et soudano-guinéennes aptes à brûler (Dugué, 1999), ce qui n'est pas toujours le cas actuellement (de Leeuw & Reid, 1995).

La production fourragère et la part de cette production réellement consommée ont été peu étudiées.

En zones sahélienne et soudano-sahélienne

À Banizoumbou, sur des jachères à *Zornia glochidiata*, *Ctenium elegans*, *Aristida pallida* et *Mitracarpus villosus*, Hiernaux *et al.* (1998) observent que les espèces non consommables représentent cinquante-trois à soixante et un pour cent de la phytomasse. La partie de la production herbacée réellement consommée ne dépasse pas onze à dix-neuf pour cent. Le taux d'utilisation de la production fourragère se situe entre vingt-trois et quarante pour cent. En fin de saison sèche, la phytomasse résiduelle varie de deux cent cinquante-cinq à trois cent trente-cinq kilogrammes de matière sèche par hectare.

À Ticko, sur des jachères à *Zornia glochidiata* et *Zornia glochidiata-Loudetia togoensis*, Achard & Banoïn (2000) estiment, à partir du suivi du comportement alimentaire des animaux et de la contribution spécifique des espèces non consommées, que la production fourragère représente environ quatre-vingt-dix pour cent de la production herbacée. Ces fourrages sont principalement consommés par le bétail au cours de la saison des pluies, et par le bétail et les termites en début de saison sèche. Il ne reste pratiquement plus de litière sur les jachères au-delà du mois d'avril. Le taux d'utilisation de la production fourragère se situe entre quarante et cinquante pour cent.

En zone soudanienne

Dans le nord de la Côte-d'Ivoire, César (1981) et César & Zoumana (1993) mesurent la production fourragère cumulée des repousses après coupe (rythme de coupe de 35 jours) sur des jachères jeunes, dégradées ou restaurées, sur des jachères anciennes et sur une savane reconstituée (figure 1). Ces auteurs observent que la production fourragère des repousses est peu différente de la phytomasse maximale sur les jachères jeunes alors que, dans les formations plus anciennes, l'écart entre la phytomasse maximale et la production fourragère est respectivement de quarante-cinq et trente-deux pour cent, la phytomasse des espèces non appréciées grandissant avec l'âge de la jachère.

En revanche, on possède plus d'informations sur l'effet de l'intensité de l'exploitation du pâturage en saison des pluies, évalué en général par des essais de fauche unique ou répétée. En zone sahélienne du Mali, la capacité des annuelles, et surtout des graminées, à repousser après une coupe au cours de la croissance a été montrée par Hiernaux & Turner (1996). L'impact d'une coupe unique se traduit par une perte mineure de production et parfois même par un gain lorsque la coupe intervient avant la montaison et favorise le tallage. En revanche, les repousses s'épuisent très vite si les coupes sont fréquentes. Hiernaux *et al.* (1995) ont montré que des coupes effectuées à des intervalles de quinze et trente jours, en années de bonne pluviosité, conduisent à une perte de production qui s'élève respectivement à cinquante pour cent et à vingt-cinq pour cent de la production du témoin non exploité. En zone nord-soudanienne du Burkina Faso, Achard (1993) a appliqué des rythmes de coupe à intervalle de vingt, trente, quarante et soixante jours sur une jachère à *Schizachyrium exile* et *Andropogon pseudapricus*. Il remarque que la production des repousses représente quarante-sept à soixante-seize pour cent de la phytomasse maximale, selon le rythme de coupe. Le rythme de coupe de quarante jours est celui qui permet de récolter la plus grande quantité de graminées au stade «début épiaison», optimal pour l'alimentation animale : trois mille deux cents kilogrammes de matière sèche par hectare en deux coupes, fin juillet et début septembre. La troisième coupe, vers le 15 octobre, a produit mille cinq cent kilogrammes de matière sèche par hectare, au stade «fructification». Au Sénégal, sur des jachères à *Andropogon pseudapricus*, Ickowicz *et al.*, (1998) ont pu récolter mille cinq cent kilogrammes de matière sèche par hectare de repousses de second cycle sous forme de foin de bonne qualité (65 g de matières azotées totales [MAT].kg ms⁻¹), après une première coupe en août. Ces résultats concordent avec ceux de César (1992), en zone soudano-guinéenne, sur des jachères à graminées vivaces. Cet auteur s'est livré à de nombreux essais de rythme d'exploitation. Il en conclut :

- que le rythme vingt-cinq-trente-cinq jours ne semble pas convenir aux jachères à *A. gayanus*, dont la production régresse rapidement ;
- que, dans l'ensemble des jachères, la biomasse maximale est toujours supérieure à la somme de la biomasse des repousses ; la biomasse des repousses de soixante jours ne se différenciant pas de celle des repousses de trente jours, du moins en première année ;
- que la production des repousses de deuxième année est inférieure à celle de première année.

Production des ligneux

Seule une partie de la production végétale des plantes ligneuses est potentiellement fourragère. Selon les espèces, elle est constituée des feuilles, des jeunes rameaux, des fleurs et des fruits. Ces fourrages sont consommés toute l'année par les caprins, les camelins et les ovins. Ils constituent une part importante du régime alimentaire des deux premiers groupes. Ils ne sont recherchés par les bovins qu'en période de déficit fourrager herbacé.

La production foliaire des plantes ligneuses

Peu de données sont disponibles sur la production foliaire des ligneux dans les jachères. À l'échelon régional, elle augmente avec la pluviosité, mais, localement, elle varie avec la densité et la structure du peuplement ligneux, qui résultent des aménagements opérés au cours de la succession des périodes de culture et de jachère. Dans tous les cas, elle croît avec l'âge de la jachère jusqu'à un palier (Bremant & Kessler, 1995); d'une façon générale, elle reste relativement faible (tableau II) par rapport à celle des peuplements naturels. À Bani-zoumbou, avec un peuplement ligneux composé de *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum* et *C. glutinosum*, Hiernaux *et al* (1998) mesurent une masse foliaire de cent quatre-vingt-quinze à mille quatre cent neuf kilogrammes de matière sèche par hectare sur les jachères, alors qu'elle est de cent dix-neuf à deux cent quarante kilogrammes de matière sèche par hectare sur les champs où elle est essentiellement constituée de rejets de souche. Dans la région de Dalonguébougou, au Mali, Cissé *et al.* (1993) enregistrent dans des jachères de un à six ans une production foliaire d'environ huit cents kilogrammes de matière sèche par hectare. Quand à Chevalier (1994) il estime la biomasse foliaire des jachères soudanaises du Burkina Faso à cinq cent kilogrammes de matière sèche par hectare.

Tableau II. Production fourragère des ligneux des jachères (kg ms.ha⁻¹) selon la zone agroécologique.

Zone agroécologique	Production fourragère	Auteurs
Sud sahélienne	350-440	Hiernaux <i>et al.</i> (1998)
	500	Cissé <i>et al.</i> (1993)
	130-650	Bremant & de Ridder (1991)
Soudanaise	950	Bremant & de Ridder (1991)
	500	Chevalier (1994)

La production fourragère des plantes ligneuses

Plus encore que pour les herbacées, le broutage des ligneux est sélectif. La sélection dépend de l'espèce animale, des organes végétaux et de leur état de maturité, de leur accessibilité, de la saison et du disponible fourrager offert par ailleurs. Seule une petite fraction de la production est fourragère. Dans une steppe sahélienne à *Acacia senegal*, Ickowicz & Dassering (Cirad-E.M.V.T., 1994) estiment que la biomasse foliaire disponible pour le bétail est de vingt-six kilogrammes de matière sèche par hectare. Dans la région sahélo-soudanaise du Mali, Cissé *et al.* (1993) ont évalué le potentiel fourrager du peuplement ligneux sur cinq jachères de un à trente ans : la phytomasse moyenne des feuilles et fruits s'élève à sept cent soixante-deux kilogrammes de matière sèche par hectare. La production fourragère est estimée à trois cent soixante-quatorze kilogrammes de matière sèche par hectare, soit cinquante pour cent de la phytomasse; elle est constituée pour quatre-vingts pour cent par *Guiera senegalensis*. En zone soudano-sahélienne, l'abondance des Combretacées, peu ou pas appréciées par le bétail, parmi les ligneux de la strate buissonnante qui rejettent de souche, réduit la fraction fourragère de la production foliaire des ligneux dans les jachères. En zones soudanaises et soudano-guinéennes, parmi les espèces très fréquentes dans cette strate de rejets *Dichrostachys cinerea*, *Securinega virosa*, *Acacia sieberiana*, *Bridelia ferruginea* et *Piliostigma thonningii* sont très appréciés, de même que les

fruits de *Piliostigma reticulatum*, tandis que *Annona senegalensis*, *Detarium microcarpum*, ne sont guère recherchés par le bétail (Bremar & Kessler, 1995 ; César & Zoumana, 1996 ; Diallo, 1997).

Conclusion : des productions fourragères sous l'influence du climat, de l'âge de la jachère, et du régime de la pâture

À l'échelon régional, la production végétale des jachères augmente avec la pluviosité de la zone sahélienne à la zone nord-soudanienne ; elle se stabilise ensuite aux environs de cinq mille kilogrammes de matière sèche par hectare de la zone nord-soudanienne à la zone soudano-guinéenne. Localement, alors que la phytomasse des plantes ligneuses croît avec l'âge de la jachère, celle de la strate herbacée est plus liée au mode de gestion pastoral. À court terme, une pâture continue et intense au cours de la saison de croissance peut en effet réduire la production herbacée de moitié. À plus long terme, le régime de la pâture peut modifier l'évolution de la végétation des jachères dans des directions diverses, depuis le blocage de l'évolution à un stade dominé par des dicotylédones peu productives et plus ou moins appréciées, jusqu'à l'envahissement par des dicotylédones, productives mais refusées par le bétail, où à l'embroussaillage accéléré. De cette évolution, et de ses conséquences sur la contribution relative des espèces appréciées, dépend la fraction fourragère de la production herbacée.

Valeur pastorale des jachères

Le concept de valeur pastorale ne se réfère pas uniquement à la valeur nutritive des fourrages mais dépend également de la production fourragère, de son accessibilité et de sa disponibilité au cours de l'année en regard des besoins nutritionnels saisonniers du bétail.

Valeur pastorale des fourrages apportés par les jachères

Fourrages herbacés

Dans l'ensemble, la valeur pastorale des jachères est faible par rapport à celle des formations à graminées vivaces, en particulier *A. gayanus*, qui recouvraient une grande partie des zones étudiées jusque dans les années soixante, (White, 1986), y compris dans la zone méridionale du Sahel (Tilho, 1914 ; Rippstein & Peyre de Fabrègues, 1972 ; Benoit, 1984). Cela est dû à leur végétation, composée d'espèces annuelles, dont la valeur fourragère en saison sèche est supérieure à celle des pérennes, mais qui, peu ou moyennement productives, laissent un stock de paille réduit, et dont l'appétibilité peut-être très limitée (cas des jachères à *Sida cordifolia*, *Mitracarpus villosus*, *Cassia* spp., etc.).

En zone soudanienne du Mali, Karembé (2000) observe que seulement trois à douze pour cent de la flore des jachères de Missira est constituée par des espèces à très bonne, ou bonne, valeur pastorale.

César & Zoumana (1993), ont établi une échelle de valeurs pastorales fondée sur les caractéristiques de la strate herbacée : composition floristique, appétibilité, valeur nutritive, productivité et résistance au broutage. Cette échelle comporte six classes numérotées de 5 à 0 dans l'ordre décroissant des valeurs pastorales. Les trois premières classes (5-4-3) regroupent les espèces bonnes fourragères avec, en particulier, *A. gayanus* qui constitue le meilleur pâturage de jachère dans les zones soudanienne quand cette espèce subsiste. Cependant, l'expansion des surfaces cultivées, la destruction systématique des pieds de *A. gayanus* lors

des défrichements et sarclages, la diminution de la durée des jachères et le surpâturage⁽²⁾ ont entraîné sa raréfaction (César & Zoumana, 1990 ; Serpantié *et al.*, 1998 ; Achard *et al.*, 2000). La classe 2 regroupe les espèces de productivité moyenne et dont l'appétibilité est limitée suivant les saisons avec une valeur nutritive moyenne à bonne. Les deux dernières classes (1 et 0) regroupent les espèces dont la production est très faible et (ou) l'appétibilité, médiocre à nulle. Suivant ces critères, la majeure partie des espèces des jachères de la zone sud-sahélienne à la zone soudano-guinéenne se rangent parmi ces deux dernières classes (tableau III). En outre, César & Zoumana (1993), en comparant la valeur pastorale de deux jachères soumises à une pâture intense, l'une récente, l'autre ancienne, remarquent que les valeurs pastorales de ces deux formations sont identiques malgré une proportion beaucoup plus importante de graminées vivaces dans la jachère ancienne : soixante-cinq pour cent au lieu de vingt et un pour cent (mais il s'agit de *Cymbopogon schoenanthus*, peu appréciée). Ils concluent que la valeur pastorale d'une jachère dépend beaucoup plus de l'intensité de son exploitation par le bétail que de son âge ou de son stade d'évolution vers la savane. En zone soudanienne du Sénégal, Akpo *et al.* (2000) ont effectué une étude synchrone de la végétation de cinq jachères de un à dix-sept ans d'âge. Ils observent que la valeur pastorale de ces jachères – caractérisée par un « indice global de qualité » fondé sur la valeur pastorale et la contribution spécifique des espèces recensées et exprimé en pour cent – augmente dans les cinq premières années, de cinquante-quatre à soixante-trois pour cent, puis diminue entre dix et dix-sept ans, pour atteindre cinquante-deux pour cent. Cependant, ces résultats sont à prendre avec précaution quand on connaît les limites des études synchrones réalisées avec de petits échantillons sur des milieux où la variabilité est grande.

Tableau III. Répartition des principales espèces herbacées des jachères selon leur valeur pastorale, d'après la classification de César & Zoumana (1993) adaptée à la végétation des jachères des zones sud-sahélienne à soudano-guinéenne.

Classes de valeur pastorale*		
2	1	0
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	<i>Dactyloctenium aegyptiacum</i>	<i>Spermacoce radiata</i>
<i>Zornia glochidiata</i>	<i>Digitaria gayana</i>	<i>Waltheria indica</i>
<i>Spermacoce stachydea</i>	<i>Eragrostis tremula</i>	<i>Sida cordifolia</i>
<i>Pennisetum</i> spp.	<i>Diheteropogon hagerupii</i>	<i>Cassia tora</i>
<i>Imperata cylindrica</i>	<i>Ctenium elegans</i>	<i>Mitracarpus villosus</i>
	<i>Schizachyrium exile</i>	<i>Sporobolus pyramidalis</i>
	<i>Loudetia togoensis</i>	
	<i>Andropogon pseudapricus</i>	
	<i>Digitaria longiflora</i>	

*Les espèces ayant une VP élevée; correspondant aux classes 3, 4 et 5 de l'échelle de César, sont absentes ou peu représentées dans la végétation des jachères surexploitées par le bétail. * *The species with a high pastoral value (classes 3, 4 and 5 of Cesar scale) are absent or very little important in fallow overgrazed vegetation.*

(2) Dans les zones sahéliennes sur sols sableux, on remarque que *A. gayanus*, qui se trouve là actuellement en marge de son aire, supporte très bien une intensité de pâture élevée, au détriment il est vrai de la production de tiges et de semences (Banoïn & Achard, 1998).

En revanche, si l'on s'en tient uniquement à la valeur pastorale de saison sèche, il semble que la valeur pastorale des jachères soudaniennes puisse être supérieure à celles des formations à pérennes de la même zone (Kaasschieter *et al.*, 1998); ces derniers auteurs ont proposé une classification des parcours naturels des zones sud-sahéliennes et soudaniennes. Cette classification est basée sur le bilan hydrique et sur la composition floristique des formations végétales dominantes, la digestibilité des principales espèces en saison sèche et leur taux d'azote (tableau IV). Chaque zone agro-écologique a été scindée en deux : zone à densité humaine moyenne avec parcours naturels peu dégradés, et zone à densité humaine élevée où les cultures et jachères occupent environ quatre-vingt pour cent de la superficie des terroirs et où les parcours sont constitués en grande partie par des jachères jeunes à la végétation dégradée. Il ressort de cette étude qu'en saison sèche :

- la qualité des pâturages de la zone sud-sahélienne est supérieure à celle de la zone soudanienne, où la végétation des parcours est dominée par les graminées annuelles à cycle long et par *A. gayanus* ; celle des jachères, par des dicotylédones ;
- il y a peu de différence de valeur nutritive entre les fourrages des parcours et ceux des jachères de la zone sud-sahélienne, alors qu'en zone soudanienne les fourrages des parcours sont un peu moins nutritifs que ceux des jachères qui, il est vrai, poussent sur des sols très différents ;
- globalement ces fourrages ne couvrent pas les besoins d'entretien.

Fourrages ligneux

Les caractéristiques des fourrages ligneux ont été longuement décrites par le document sur la « valeur alimentaire des fourrages ligneux consommés par les ruminants en Afrique centrale et de l'Ouest » réalisé par le Cirad-E.M.V.T. (1994).

Tableau IV. Contribution relative (%) des principaux groupes d'espèces à la biomasse de la strate herbacée des parcours naturels par zone agroécologique et par rapport à l'occupation de l'espace (parcours ou jachères). Taux moyen en matière organique digestible (MOD, g.kg⁻¹) et en azote (N, g.kg⁻¹), et rapport N/MOD du fourrage de saison sèche.

Groupes d'espèces	I	II	III	IV	V	VI			
Zones	<i>Cenchrus biflorus</i> <i>A. ovalifolius</i>	<i>Zornia glochidiata</i>	<i>S. gracilis</i> <i>Panicum laetum</i>	<i>B. linariifolia</i> <i>Spermacoce spp.</i>	<i>D. hagerupii.</i> <i>P. pedi- cellatum</i> <i>A. pseudo- pricus</i> <i>Loudetia togoensis</i>	<i>A. gayanus</i>	MOD	N	N/Mod
Sud du Sahel									
Parcours	15	12	37	18	18	0	505	10,8	0,021
Jachères	0	19	35	23	23	0	503	11,1	0,022
Soudanienne									
Parcours	0	18	8	18	37	19	421	7,5	0,018
Jachères	0	35	10	35	10	10	437	10,5	0,024

D'après Kaasschieter *et al.* (1998)

La part de la production fourragère des espèces ligneuses qui est effectivement consommée par le bétail est très petite. Breman & de Ridder (1991), Breman & Kessler (1995) estiment qu'au Sahel eulement vingt-cinq pour cent de la production de feuilles et rameaux sont effectivement consommés, et quinze pour cent en zone soudanienne, c'est-à-dire respectivement dix à cinquante kilogrammes de matière sèche par hectare et quarante kilogrammes de matière sèche par hectare. Ces auteurs indiquent par ailleurs que les feuilles vertes encore portées par les ligneux en saison sèche – principale période de consommation par les ruminants domestiques (Achard, 1993; Banoïn & Achard, 1998; Ickowicz *et al.*, 1988; Karembé, 2000) – ne représentent que vingt-cinq pour cent de la production annuelle au Sahel; ces quantités décroissent en allant vers le sud pour atteindre cinq pour cent en zone soudanienne. En fin de saison sèche, les quantités disponibles avoisineraient vingt kilogrammes par hectare au Sahel et soixante-dix kilogrammes par hectare en zone soudanienne, dans les milieux non touchés par le feu.

En zone sud-sahélienne, *Guiera senegalensis* domine le peuplement ligneux des jachères. Les jeunes feuilles de cet arbuste peuvent être très recherchées, en fin de saison sèche, dans les terroirs sahélo-soudaniens, où elles constituent une des rares sources de fourrage disponible à cette saison. Cependant, c'est un aliment de faible qualité (Fall-Touré *et al.*, 1992), avec une teneur en tanins (4 à 11 p. cent de la matière sèche) et en ligno-cellulose (ADF) élevée, et dont la digestibilité est basse. Hiernaux *et al.* (1995), dans des zones où le déficit fourrager de fin de saison sèche n'est pas trop élevé, estiment sur la base d'essais contrôlés en station et de suivis du comportement fourrager de troupeaux de bovins et petits ruminants sur les champs et jachères, que seulement cinq pour cent de la biomasse foliaire de *Guiera senegalensis* sont consommés, soit dix-huit à vingt-deux kilogrammes de matière sèche par hectare. Sur le terroir de Ticko, Achard *et al.* (1999) observe que cette valeur, en cas de déficit fourrager important, peut aller jusqu'à quinze à vingt pour cent. Sur ce même site, Kassoum (1999) remarque que cet arbuste semble se régénérer très mal par semis ou drageons; il attribue ce fait au broutage excessif des jeunes plants en fin de saison sèche et en début de saison des pluies. Banoïn & Achard (1998) relèvent que, en fin de saison sèche, vingt-six pour cent des prises alimentaires journalières des bovins et quarante-cinq pour cent de celles des petits ruminants sont effectuées sur les ligneux des jachères, en particulier *Guiera senegalensis*. De même, à Niono, au Mali, Kassambara *et al.* (in Cirad-E.M.V.T., 1994) observent que cette espèce constitue respectivement vingt-cinq, quarante-cinq et treize pour cent de la fraction «ligneuse» du régime des bovins, ovins et caprins, d'avril à juin.

À Gampéla, en zone nord-soudanienne, Achard (1993), lors de l'étude du comportement alimentaire d'un troupeau de zébu (décembre 1991 à juin 1992), relève que la part des ligneux (principalement *Piliostigma reticulatum*, *Guiera senegalensis*, *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*) dans les prises alimentaires des animaux est inférieure à dix pour cent de décembre à février; elle augmente rapidement à mesure que les résidus de culture s'épuisent: vingt pour cent du 1^{er} mars au 10 mai, puis quarante-deux pour cent du 15 mai au 15 juin. Dans la même zone climatique, Karembé (2000) trouve des valeurs supérieures en milieu et en fin de saison sèche: soixante-trois à soixante-dix pour cent du régime. *Vitellaria paradoxa* est une espèce recherchée par les bovins et par les ovins dans toute sa zone d'extension.: Bodji *et al.*, 1993 (in Cirad-E.M.V.T., 1994) notent qu'elle constitue quarante-six pour cent de la fraction ligneuse du régime des bovins, en mars, à Bouaké (Côte-d'Ivoire); Njoya & Onana (1993), soixante-quatre pour cent, en saison des pluies, à Garoua, au Cameroun, où elle représente aussi treize pour cent de celle des ovins en saison des pluies et saison sèche. En zone soudanienne du Sénégal, Ickowicz *et al.* (1998) notent que la part des ligneux, principalement *Holarrhena floribunda* et *Dichrostachys cinerea*, s'élève à vingt-quatre pour cent des prises alimentaires en fin de saison sèche. En zone soudano-guinéenne, César & Zoumana (1996) notent que le pic de consommation des ligneux se situe en février, quand ces espèces ont émis leur nouvelles feuilles.

À propos de la valeur nutritive des fourrages ligneux (tableau V), Koné *et al.* (1989), Reed *et al.* (1993) et Breman & Kessler (1995) soulignent que les feuilles ont une teneur en matière azotée relativement élevée (12 à 13 p. cent de la matière sèche). Ces espèces constituent donc une importante source de protéines pour les ruminants en saison sèche. Cependant, une proportion relativement élevée des composés azotés est associée avec la lignocellulose et considérée comme indigestible pour l'animal. Chez *Guiera senegalensis* et *Piliostigma* spp., par exemple, quarante à cinquante-sept pour cent de l'azote total peuvent être associés à la fraction ADF, sous forme de MAadf, matières azotées ($N \times 6,25$) liées à l'acid detergent fiber, en pour cent des matières azotées totales. De plus la présence de niveaux relativement élevés de tanins (Grillet et Villeneuve, 1994), dans le feuillage d'un certain nombre d'espèces arborées rends l'azote aussi moins digestible. C'est le cas de *Faidherbia albida*, où la digestibilité de la matière organique peut être comparable à celle des résidus de culture de céréales (environ 50 p. cent) ou des deux espèces citées plus haut où elle peut être voisine de trente pour cent seulement (Fernández-Rivera, *comm. pers.*).

Faidherbia albida

Cet arbre, très répandu sur les terroirs cultivés d'Afrique de l'Ouest (Wood, 1993) nécessite une mention particulière ; sa population est en expansion dans les zones sahélo-soudanaises et nord-soudanaises (Bertrand & Berthe, 1996 ; Ouédraogo & Alexandre, 1996 ; Seignobos, 1996 ; Mahamane, 1997) ; il paraît une des rares espèces ligneuses appréciées qui parvient à se développer dans des terroirs supportant une charge animale très élevée. Il représente un élément important des systèmes d'alimentation du bétail par sa production fourragère d'assez bonne qualité en saison sèche et par sa capacité de repousse qui permet

Tableau V. Composition chimique, et digestibilité *in vivo* des feuilles vertes (et des gousses pour *Faidherbia albida*) des principaux ligneux des jachères d'Afrique de l'Ouest.

	<i>Faidherbia albida</i>		<i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Parkia biglobosa</i>	<i>Guiera senegalensis</i>	<i>Piliostigma</i> spp.	<i>Anona senegalensis</i>
	Feuilles	Gousses					
Constituants pariétaux (p. cent MS)							
Cellulose brute	16	29	30	25	22-30	26-29	24
Lignocellulose (ADF de Van Soest)	20	34	37	42-56	35-48	31-44	35
Lignine (ADL de van Soest)	9	9	14	25-33	14-23	12-21	12
Matières azotées (MA)							
MATotales (MAT) p. cent MS	16	11	6-11	9-12	7-20	4-9	11
MA résiduelles de l'ADF, p. cent MAT*	10	10	23	50	10-40	27-57	18-31
Dégradabilité enzymatique							
- de la matière organique (p. cent MO)	44	61	30	21-34	23-41	31-38	46-54
- des MA (p. cent de MAT)	61	73	20-24	12	20-35	19-48	13-22
Digestibilité <i>in vivo</i> ou <i>in vitro</i>							
- de la matière organique (p. cent MO)	15-30	49	35	30	10-15	33-38	16-24
- des MA (p. cent de MAT)		18	23			2-11	

* assimilées aux matières azotées indigestibles

deux émondages successifs (Depommier & Guérin, 1996). Ces auteurs ont réalisé une étude dans deux terroirs, situés en zone soudanienne du Burkina Faso, sur l'émondage traditionnel de *Faidherbia albida*, sa production fourragère et la valeur nutritive de cette production (tableau VI). Ils observent que la production de gousses est très irrégulière et fluctue en fonction de l'intensité de l'émondage, de la position topographique et de la pluviosité. La digestibilité des gousses est deux à trois fois supérieure à celle des feuilles.

Tableau VI. Production (kg ms.arbre⁻¹) de gousses et de feuilles de *Faidherbia albida* dans deux terroirs du Burkina Faso : Watinoma et Dossi.

Terroirs	Production de gousses	Production de feuilles
Watinoma (Pluie = 600 mm)	2 à 3 avec émondage fort	5-40 feuilles (1 émondage) 50-100 feuilles + rameaux (2 émondages)
Dossi (Pluie = 1 000 mm)	22 (1-157) sans émondage	Non déterminée

D'après Depommier & Guérin (1996)

Place des jachères dans le calendrier fourrager

Contrairement aux champs, dont les animaux sont éloignés en saison de culture, les jachères sont ouvertes au bétail toute l'année, au moins pour le bétail de la communauté villageoise. Elles sont parcourues continuellement, dans la mesure de leur accessibilité qui tend à se réduire avec le morcellement et l'enclavement qui accompagnent l'expansion des cultures. Cependant, du fait qu'une grande partie des espèces qui constituent la strate herbacée, sèche et se dégrade rapidement peu après les dernières pluies, la période d'utilisation optimale des parcours sur jachères à annuelles est brève (César & Zoumana, 1993 ; Diarra *et al.*, 1993 ; Fournier, 1996) ; elle se limite grossièrement à la saison des pluies. De novembre à février, les jachères sont délaissées pour les adventices et les résidus de culture directement pâturés sur les champs ; les animaux n'y reviennent qu'en milieu et en fin de saison sèche. À cette époque, ne subsistent que les feuilles, ou fruits, des ligneux et les graminées à paille dure : *Ctenium elegans*, *Loudetia togoensis*, *Diheteropogon hagerupii*, *Andropogon pseudapricus*, etc. dont une partie est consommée, faute de mieux (Achard, 1993 ; Banoin & Achard, 1998). Kiéma (1992), Fournier (1994) et Hiernaux *et al.* (1998) observent que les jeunes jachères présentent un grand intérêt en début de saison des pluies car les espèces qui y croissent, graminées à cycle court et dicotylédones, ont un développement précoce, par rapport à celui des graminées annuelles à cycle long, et elles améliorent une ration particulièrement déficitaire à cette période. Ce fourrage, de bonne valeur nutritive, est cependant peu abondant car la croissance des annuelles, lente en début de cycle, est encore ralentie par la pâture.

Conclusion : la contribution des jachères aux ressources fourragères des terroirs

Malgré la réduction de leur durée, des superficies qu'elles occupent et leur productivité faible à moyenne, les jachères continuent à représenter une importante source de fourrage herbacé et ligneux et constituent l'élément clé du système fourrager de nombreux systèmes de production mixte culture-élevage.

Dans trois terroirs de la zone sahélienne du Niger, où le bétail est en transhumance en saison des pluies, les jachères ont fourni quarante-neuf, cinquante-deux et vingt-sept pour

cent des fourrages ingérés par le bétail au cours de l'année alors qu'elles occupent respectivement quarante-six, quarante et vingt-cinq pour cent des terres (Hiernaux *et al.* 1998). À Ticko, en zone sahélo-soudanienne du Niger, où la majorité des animaux est présente toute l'année, elles procurent quarante-trois pour cent des ressources fourragères alors qu'elles n'occupent que vingt-trois pour cent de la surface du terroir (Banoïn & Achard, 1998). En zone soudanienne, au Mali, Karembé *et al.* (1998) observent que les jachères contribuent pour cinquante-deux pour cent à l'alimentation des animaux ; en Casamance (Sénégal), Richard *et al.* (1991) et Ickowicz *et al.* (1998) donnent des valeurs voisines de trente-cinq pour cent.

La contribution des jachères à l'alimentation du cheptel est d'autant plus importante qu'elle assure, en saison des pluies, une grande partie de la production animale annuelle. Ce rôle clé dans le système fourrager est renforcé aujourd'hui par les obstacles à la mobilité régionale du bétail, qui permettait d'éloigner les animaux des terroirs agricoles de juillet à octobre, en les envoyant en transhumance.

Amélioration de la production fourragère des jachères

De nos jours, dans la plupart des terroirs d'Afrique de l'Ouest, le déficit des ressources fourragères s'aggrave. Les productions animales, viande, lait et fumier, en souffrent et le développement de l'association agriculture-élevage est remis en cause à moyen terme. Les ressources fourragères disponibles ne permettent plus d'entretenir un bétail suffisant pour fumer les terres cultivées ; jachères, parcours et champs ne fournissent pas assez de fourrages de qualité pour couvrir les besoins du bétail. L'amélioration globale de la production fourragère à l'échelon du terroir devient cruciale. D'où les nombreux essais et actions de développement consacrés à ce sujet.

L'amélioration de la production végétale et de la valeur pastorale des jachères peut constituer une étape entre l'exploitation communautaire des parcours, sans véritable gestion, et l'insertion d'une sole fourragère dans le système de culture, nécessitant une appropriation de l'espace pâturé. Dans ses formes les plus simples (sursemis) elle peut :

- être financièrement peu coûteuse (César, 1992 ; Serpantié & Madibaye, 1998), les seuls intrants étant, dans certains cas, les achats de semences ;
- ne nécessiter qu'un travail du sol réduit, ou pas de travail du sol ;
- ne pas conduire à une mutation des systèmes agraires en place, comme le ferait l'introduction de cultures fourragères.

L'amélioration de la production fourragère des jachères a été entreprise selon deux voies principales :

- la restauration des capacités de production herbacée des jachères, sans apport végétal extérieur, par une mise en défens ou par un aménagement des sols encroûtés ou encore par une lutte contre l'embroussaillage ;
- le sursemis d'espèces herbacées, graminées ou légumineuses, consommées par le bétail.

La mise en défens

La mise en défens, une alternance interannuelle d'exploitation en saison des pluies et en saison sèche ou une exploitation modérée, en supprimant ou en diminuant l'intensité des perturbations subies par la végétation sous l'effet de la pâture, devrait améliorer la valeur pastorale et la productivité fourragère des jachères à moindre coût. Plusieurs auteurs ont testé, ou ont observé, l'effet de la mise en défens sur l'évolution de la végétation des jachères.

Dans le nord de la Côte-d'Ivoire, César & Zoumana (1990, 1993) et Zoumana *et al.* (1994) ont mis en défens une jeune jachère surpâturée, implantée sur sol sableux, et portant une végétation de *Zornia glochidiata* (39 p. cent), *Digitaria longiflora* (30 p. cent) et *A. gayanus* (15 p. cent). Après quatre ans de protection, ils constatent que la mise en défens a accru le pourcentage des espèces à bonne valeur pastorale, essentiellement *A. gayanus*, de quinze à cinquante-six pour cent, mais que les espèces non consommées ou à valeur pastorale faible ou mauvaise représentent encore quarante-deux pour cent de la masse de la végétation. Par la suite, cette parcelle a été exploitée par coupe avec un rythme de vingt-cinq ou trente-cinq jours. En première année, la production herbacée a doublé par rapport au témoin, mais elle est encore peu élevée (1 960 kg ms.ha⁻¹). En deuxième année, le pourcentage de *A. gayanus* a chuté de cinquante-six à sept pour cent et la production a baissé. Les auteurs concluent que le rythme d'exploitation adopté ne convient pas à *A. gayanus*. Une expérience ultérieure (Zoumana *et al.*, 1994) a montré qu'au contraire un rythme d'exploitation de soixante jours permet la conservation de cette graminée dans les mêmes conditions de milieu.

En zone nord-soudanienne du Burkina Faso, Achard (1992 et 1994) observe que dans des jachères sur sol gravillonnaire, mises en défens depuis treize ans, la contribution spécifique de *A. gayanus* se situe entre trente-sept et cinquante-cinq pour cent et la production herbacée, entre quatre mille sept cents et sept mille trois cents kilogrammes de matière sèche par hectare ; mais des valeurs du même ordre ont été enregistrées dans des parcelles proches soumises à une intensité de pâture modérée. En revanche, au Mali, Karembe (2000) remarque que la protection se traduit par une diminution des graminées à très bonne et à moyenne valeur pastorale, quel que soit l'âge de la jachère.

En zone soudano-sahélienne du Sénégal, à Thyssé Kaymor, Diatta & Faye (1996), après quatre années de mise en défens, enregistrent une augmentation du nombre d'espèces herbacées et ligneuses, par rapport à la situation de départ, qui atteint respectivement vingt-six et cinquante pour cent, et une multiplication par deux de la phytomasse.

En zones sud-sahéliennes du Niger, Inhale (1998) et Achard *et al.* (1999) trouvent, sur des jachères d'âge divers surpâturées, situées sur sols sableux avec une végétation à base de *Zornia glochidiata* ou de *A. gayanus*, des résultats très différents de ceux énoncés ci-dessus. Ils remarquent que la mise en défens conduit à une dégradation des états de surface du sol, par développement des croûtes microbiotiques (Malam Issa, 1999), et à une diminution du recouvrement et de la production de la strate herbacée. Dans le cas d'une jachère à *A. gayanus*, ils ont assisté à la quasi-disparition de cette espèce, dont la contribution spécifique est passée, en trois ans de protection, de 47 à 1,6 pour cent alors qu'elle se maintenait dans la parcelle surpâturée. Au Centre sahélien de l'Icrisat, au Niger, la mise en défens intégrale pendant quatorze ans d'une jachère jusque-là pâturée a entraîné une extension des encroûtements et une légère baisse de production par rapport à la jachère modérément pâturée. On a assisté également à une évolution de la flore au profit d'espèces peu appréciées telles que les dicotylédones *Merremia pinnata*, *Cassia mimosoides*, et telles que les graminées à cycle long : *Ctenium elegans*, *Diheteropogon hagerupii*. Cependant, quelques espèces meilleures fourragères, telles *Pennisetum pedicellatum*, *Brachiaria xantholeuca*, *Blepharis linearifolia* et *Hibiscus sabdariffa* se sont aussi installées (Hiernaux, 1998).

La mise en défens seule ne permet pas la restauration de la végétation ; un ou plusieurs seuils d'irréversibilité ont été franchis entre la phytocénose actuelle et la phytocénose originelle, en particulier le manque de plants semenciers et la disparition du stock de semences du sol (Aronson *et al.*, 1993 ; Achard *et al.*, à paraître). En outre, dans un système d'exploitation communautaire des ressources fourragères, où les parcours de saison des pluies se réduisent chaque année du fait de l'extension des cultures et où le déficit fourrager est chronique, il est pratiquement impossible d'appliquer cette méthode, de même que de mettre en place, à court terme, une gestion rationnelle des ressources fourragères des jachères (Serpantié *et al.*, 1998).

La restauration des capacités productives des sols encroûtés des jachères

En zone sahélo-soudanienne du Niger, à Banizoumbou, deux types de travaux ont été réalisés concernant la restauration de la végétation sur les plages encroûtées des jachères sur sols sableux. Léonard & Rajot (1998) ont étudié l'effet du paillage à base de graminées annuelles ou de l'épandage au sol de branches de *Guiera senegalensis*, méthode traditionnelle de réhabilitation des sols nus encroûtés dans cette région, et le rôle des termites dans l'amélioration de l'infiltration. Ils concluent que le paillage, réalisé au début d'une mise en jachère, permet une réhabilitation durable des zones dégradées. Des travaux similaires ont été conduits par Mando (1997), en zone nord-soudanienne du Burkina Faso, sur des sols ferrugineux tropicaux encroûtés, avec des résultats identiques concernant l'amélioration de l'infiltration. Cet auteur relève que l'interaction du paillage (pailles de *Pennisetum pedicellatum*) et des termites a permis la réinstallation d'une végétation à base de graminées annuelles : *Schoenefeldia gracilis* et *Aristida adscensionis*, et de ligneux : *Acacia* spp. et *Piliostigma reticulatum*. La phytomasse herbacée récoltée sur ces parcelles a été de 0,37 kilogramme de matière sèche par mètre carré.

Parallèlement aux expériences de Léonard & Rajot, Delabre (1998) a mis en place, en juillet 1993, sur le site de Banizoumbou, un essai de réhabilitation fondé sur diverses techniques : scarification de la surface du sol (10 cm), paillage avec pailles de mil, scarification plus paillage. Les trois traitements ont permis l'amélioration des états de surface et de l'infiltration, mais l'effet de la scarification seule a été limité à la première année, les croûtes d'érosion s'étant rapidement reformées⁽³⁾.

La lutte contre l'embroussaillage

Les risques d'embroussaillage se limitent aux jachères de la zone soudano-guinéenne et des sols les plus fertiles de la zone soudanienne. Ils sont évoqués par César (1992), Breman & Kessler (1995) et Diallo (1997). César (1992) note que dans les zones soudanienne le pâturage se dégrade de deux façons : par embroussaillage et par épuisement de la strate graminéenne trop exploitée. La lutte contre l'embroussaillage est menée par la méthode classique des feux de brousse, allumés en fin de saison sèche après une année de mise en défens. Par ailleurs, il semble que le mode d'exploitation pastorale des jachères puisse aussi être adapté pour lutter contre l'embroussaillage. Louppe *et al.* (2000) observent que si la pâture par les bovins favorise le développement des ligneux, la pâture par un troupeau mixte de bovins, d'ovins et de caprins permet de limiter ce développement et de maintenir l'équilibre entre herbacées et ligneux.

Le sursemis ou le semis d'espèces herbacées

Le sursemis consiste à planter une ou plusieurs espèces dans la végétation en place d'une formation dégradée ou d'une jachère au moment de l'abandon de la culture, en vue d'améliorer la production fourragère et la valeur pastorale. Il peut s'agir d'espèces locales, considérées comme bonnes fourragères et qui ont disparu ou qui ont fortement régressé avec la mise en culture ou le surpâturage de la jachère, telles que *Pennisetum pedicellatum* ou *A. gayanus* (Achard *et al.*, 2000); il peut également s'agir d'espèces fourragères sélectionnées : *Panicum maximum*, *Stylosanthes hamata* cv. *verano*, etc. César (1992) rappelle que les plantes fourragères à introduire doivent être rustiques, puisqu'elles doivent se contenter de sols souvent épuisés, et faciles à planter, pour couvrir le sol rapidement. En outre, elles doivent résister aux maladies et à la concurrence des espèces spontanées. Peu de plantes fourragères intéressantes répondent à tous ces critères (César, 1992; Serpantié *et al.*, 1998).

(3) Pour de plus amples informations sur ce thème, se reporter à la partie réalisée par Mando *et al.* (2000, ce volume).

et les échecs d'implantation ont été nombreux. La plupart des essais d'amélioration par sursemis ont porté sur des graminées avec, en particulier, *A. gayanus*, ou sur des légumineuses avec, entre autres, *Stylosanthes hamata*.

Les semis d'espèces fourragères en culture dérobée et dans les jachères de courte durée : sorgho fourrager, *Mucuna pruriens*, *Pueraria phaseloides*, etc., ne seront pas abordés dans cette partie, mais dans la partie sur les « Systèmes de culture permanente à jachère de courte durée » (Billaz *et al.*, ce volume).

Graminées

Des graminées ont été testées dans le but d'améliorer la végétation des jachères ou d'accélérer la restauration de la végétation de savane : *A. gayanus* tout d'abord, puis des espèces telles que *Pennisetum pedicellatum*, *Chloris robusta* et *C. gayana*, *Cenchrus ciliaris*, *Brachiaria ruziziensis* et des variétés sélectionnées de *Panicum maximum*.

Andropogon gayanus

C'est une des meilleures fourragères parmi les graminées vivaces spontanées en raison de sa haute productivité, de son excellente adaptation à la longue saison sèche, de sa vaste aire de répartition écologique et de la valeur nutritive de ses repousses (Toledo *et al.*, 1990 ; Dieng *et al.*, 1991 ; César, 1992 ; Buldgen & Dieng, 1997 ; Banoïn & Achard, 1998 ; Serpantié *et al.*, 1998). Elle est en voie de raréfaction dans toute la zone étudiée et sa réinstallation pourrait représenter une solution de remplacement avantageuse des cultures fourragères conventionnelles (Serpantié *et al.*, 1998).

De nombreux essais sur les méthodes de réimplantation, sur la production de *A. gayanus* et sur son exploitation par le bétail ont été mis en place ces dernières années en Côte-d'Ivoire (César, 1992 ; Zoumana *et al.*, 1996), au Mali (Traoré, 1997), au Sénégal (Buldgen *et al.*, 1991 ; Diatta *et al.*, 1998), au Burkina Faso (Serpantié *et al.*, 1998) et au Niger (Banoïn & Achard, 1997 ; Achard *et al.*, 2000). Dans tous ces essais, *A. gayanus* a été installé par semis, sauf dans l'essai de Diatta *et al.* (1998) où des éclats de souche ont été repiqués.

Les essais menés par Serpantié *et al.* (1998), dans la région de Bondoukuy, sont particulièrement intéressants. Ils ont porté en priorité sur la recherche de méthodes d'installation de la graminée en collaboration avec les agriculteurs. Ces auteurs ont remarqué que *A. gayanus* var. *tridentatus* semble s'installer plus facilement et immédiatement sur un terrain cultivé l'année précédente du moment qu'il existe des semences, et difficilement et lentement dans une jachère plus ou moins ancienne colonisée par les graminées annuelles. Fournier & Nignan (1997) avaient déjà observé que, dans certains cas particuliers, les annuelles pouvaient bloquer la succession végétale postculturale dans cette région.

Serpantié *et al.* (1998) ont testé deux méthodes d'installation de cette graminée sur des champs labourés :

- semis au poquet, ou à la volée, sur toute la surface où l'on veut planter *A. gayanus*, après nettoyage du terrain et labour superficiel ;
- création de bandes semencières étroites, en dernière année de culture, dans la parcelle où le peuplement de *A. gayanus* doit être restauré.

Le semis à la volée, moins exigeant en temps de travail, donne de meilleurs résultats que le semis au poquet. Les doses de semences nécessaires pour obtenir en deuxième année des densités de cinq et dix pieds par mètre carré sont respectivement de trente et cinquante-cinq kilogrammes par hectare. Le desherbage n'a pas eu d'effet significatif sur le développement de la graminée. Les peuplements, protégés par la proximité des cultures pendant trois mois, ont été ensuite exploités par le bétail et se sont maintenus malgré une intensité de pâture assez élevée.

Afin de réduire les temps de travaux, et les quantités de semences à récolter, ces auteurs ont ensuite mis au point une méthode d'implantation de *A. gyanus* en deux temps, inspirée de celle qu'avaient employé von Kaufman & Mohamed-Saleem (1989) pour *Stylosanthes hamata* semé dans un champ de sorgho l'année avant sa mise en jachère. La première année, *A. gyanus* est semé (1 kg de semence.ha⁻¹) en bandes perpendiculaires au vent dominant dans un champ labouré devant être mis en jachère l'année suivante. En fin de saison des pluies, les semences produites par ces bandes sont disséminées par le vent et permettent à la population de *A. gyanus* de recouvrir la parcelle en année 2. Il semble que l'arachide soit le meilleur précédent à l'installation de *A. gyanus* (une ligne de *A. gyanus* pour 10 lignes d'arachides). Cette culture laisse moins d'adventices et, du fait du travail du sol à la récolte, permet un meilleur enfouissement des semences lors de la pâture des résidus.

Pennisetum pedicellatum

Cette graminée annuelle, assez répandue dans les jachères des zones sahélo-soudanienne à soudanienne, pourrait être installée en peuplements denses dans des jachères enclavées au milieu des cultures, et donc protégées du bétail pendant la saison des pluies. Cette espèce est caractérisée par la grande quantité de semences produites, faciles à récolter et de haute capacité germinative, et par une production de fourrage assez élevée. La jachère à *Pennisetum pedicellatum* devrait pouvoir être pâturée à une ou deux reprises au cours de la saison des pluies avant d'être fauchée pour donner un foin de bonne qualité, fin septembre, quand il devient possible de sécher du fourrage (Achard, 1991). En effet, cette espèce est peu consommée sur pied après la dissémination des semences. La confection de foin représente cependant des coûts en travail élevés et concurrence, pour la main-d'œuvre, la récolte des céréales (Hoefsloot *et al.*, 1993).

D'autres graminées telles que *Melinis minutiflora*, *Cenchrus ciliaris*, *Brachiaria brizantha*, *B. ruziziensis* et *Panicum maximum*, ont été testées en zone guinéenne et soudano-guinéenne. Hoefsloot *et al.* (1993), dans leur synthèse sur les jachères améliorées, notent que la plupart de ces espèces ont un recouvrement faible à moyen au cours des années 2 et 3 après le semis, malgré une fumure de fond de phosphate tricalcique à l'installation (0, 300, 600 kg.ha⁻¹); ils notent également que ces espèces ont du mal à se maintenir sous pâture non contrôlée. En revanche, César (1992) observe que les trois premières espèces, après une mise en défens de deux ans, sont capables de fournir un pâturage correct sur des formations initialement dégradées. Cet auteur précise encore que *Panicum maximum*, espèce améliorée, exigeante en éléments nutritifs, peut difficilement être implantée par sursemis dans une jachère. De plus, pour toutes ces espèces se posent des problèmes de disponibilité et (ou) de coût des semences (Serpantié *et al.*, 1998).

Légumineuses

Exception faite pour les jachères surpâturées à *Zornia glochidiata*, et celles qui sont envahies par *Cassia mimosoides* ou *C. obtusifolia*, les jachères sont pauvres en légumineuses non ligneuses, comme la plupart des formations herbacées tropicales. De nombreux travaux, anciens et récents, portent sur l'introduction de légumineuses fourragères sélectionnées dans les formations végétales surpâturées et les jachères jeunes. Cette introduction devrait permettre selon Mohamed-Saleem *et al.* (1986), César (1992), Tarawali & Mohamed-Saleem (1993), Reiss *et al.* (1997), Tarawali *et al.* (1997) et Yossi *et al.* (2000) :

- d'obtenir une association stable entre les graminées et la légumineuse avec un travail du sol limité à une simple scarification, ou sans travail du sol ;
- d'améliorer l'alimentation du bétail, déficitaire en protéines pendant la saison sèche et, par voie de conséquence, les productions animales : travail, lait, viande ;

- d'améliorer la production des cultures mises en place après défrichement de la jachère par augmentation du stock d'azote du sol.

Cependant, le développement des légumineuses fourragères se heurte à de nombreuses contraintes biophysiques et socio-économiques (Tarawali, 1991 ; César, 1992 ; Tarawali *et al.*, 1997 ; Serpantié *et al.*, 1998 ; Olin & Dugué, 2000 ; Billaz *et al.* 2000, ce volume), dont les principales sont :

- les maladies cryptogamiques (anthracnoses) et les attaques d'insectes ;
- les disponibilités en semences ;
- le coût de la mise en place. Coût monétaire avec l'achat de semences, le travail du sol, l'achat des engrais ; coût en main-d'œuvre, avec les temps de travaux qui s'inscrivent en concurrence des temps de travaux consacrés aux cultures de rente et aux cultures céréalières (Hoefsloot *et al.*, 1993) ;
- le contrôle de la pâture sur la jachère rendu nécessaire pour gérer l'équilibre entre la légumineuse introduite et les plantes spontanées. Ce contrôle, outre son coût (clôtures, etc.) se heurte au statut foncier communautaire des terres non cultivées, qui constitue un frein important à l'intensification fourragère (Godet *et al.*, 1998) ;
- le contrôle des feux.

Il semble que la zone de prédilection pour les légumineuses fourragères herbacées soit les zones soudanaises et soudano-guinéennes avec une pluviosité de huit cents à mille cinq cents millimètres et une saison de croissance de cent quatre-vingts à deux cent soixante-dix jours. Un grand nombre d'espèces ont été testées dans les différentes zones climatiques d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale, avec des résultats divers⁽⁴⁾.

L'espèce la plus répandue, et qui sert de référence dans de nombreux essais, est *Stylosanthes hamata* cv. *verano*. D'après César (1992), Hoefsloot *et al.*, 1993, Tarawali (1994), qui a beaucoup travaillé sur les légumineuses fourragères au Nigeria, César et Zoumana (1998), Coulibaly (1996) et Yossi *et al.* (2000), dans la zone méridionale du Mali, cette espèce constitue la meilleure légumineuse actuelle en zone sub-humide. En revanche, en zone nord-soudanienne (pluviosité de 700 à 800 mm), elle a tendance à se comporter comme une annuelle et elle supporte mal la concurrence des espèces locales. Elle présente l'avantage de se ressemer spontanément et d'échapper au phénomène de vieillissement qui caractérise beaucoup d'autres légumineuses. Disséminant ses semences avant les feux de brousse, elle est capable de se régénérer, moyennant une courte mise en défens. Les données sur les rendements des jachères améliorées par sursemis de *Stylosanthes hamata* manquent. En revanche, les rendements en fourrage, sur des parcelles où cette espèce a été implantée comme culture fourragère, peuvent atteindre trois mille cinq cents kilogrammes de matière sèche par hectare (Annor *et al.*, 1998), quatre mille sept cents à six mille huit cents kilogrammes de matière sèche par hectare avec soixante-deux pour cent de *Stylosanthes* (Tarawali & Mohamed Saleem, 1993), quatre mille à huit mille kilogrammes de matière sèche par hectare (Hoefsloot *et al.*, 1993).

La plupart des auteurs (Otsyina *et al.*, 1987 ; Hoefsloot *et al.*, 1993 ; Coulibaly, 1996 ; Tarawali *et al.*, 1997 ; Serpantié *et al.*, 1998) remarquent cependant qu'elle n'est pas capable de résister plus de deux ou trois ans à la concurrence des graminées, et que sa résistance à la pâture est variable.

Elbasha *et al.* (1998) ont réalisé une étude sur le développement actuel des légumineuses du groupe des *Stylosanthes*, vulgarisées pour l'affouragement du bétail, et du *Mucuna pruriens* utilisé pour la production de graines (voir aussi Billaz *et al.*, 2000). Ces espèces ont été introduites en Afrique de l'Ouest depuis respectivement vingt ans et dix ans. Les auteurs

(4) Notons qu'elles sont souvent utilisées comme plantes de couverture, d'amélioration de la fertilité, d'engrais vert, sans être forcément fourragères (cf. Billaz *et al.*, 2000).

ci-dessus ont mis en évidence les contraintes à l'adoption de cette culture et à ses possibilités d'avenir. Ils constatent que le *Mucuna*, espèce à plusieurs fins – production de graines, fourrage, élimination ou contrôle des mauvaises herbes (*Imperata cylindrica* en particulier), amélioration de la fertilité des sols –, a été adopté assez facilement dans le sud-ouest du Bénin. En revanche, le développement des *Stylosanthes*, en particulier *Stylosanthes hamata*, est relativement lent dans les zones sub-humides et semi-arides. Ces auteurs n'ont recensé, dans quinze pays de la région, que vingt-huit mille fermiers qui ont adopté cette technique et dix-huit mille hectares semés, dont près de huit mille hectares dans les quatre pays suivants : Cameroun, Côte-d'Ivoire, Mali et Nigeria (tableau VII). Jusqu'à maintenant l'implantation des soles fourragères à base de légumineuses s'est faite lentement, cependant dans le cadre des systèmes d'exploitation avec culture continue qui se développent rapidement, et où la jachère n'a plus sa place, il semble qu'ils soient promis à un bel avenir.

Tableau VII. Inventaire des exploitations agricoles (Nb) cultivant le *Stylosanthes hamata* dans quatre pays d'Afrique de l'Ouest, vingt ans après les premières introductions.

Pays	Nombre d'exploitations	Surface (ha)		Projets	Zone climatique
		Par exploit.	Par pays		
Cameroun	12	0,2	420	Sodepa	Humide
	2 000			Heifers Project Internat.	
Côte-d'Ivoire	42	6,0	560	Sodepra	Sub-humide
	8			Ecofarm G.T.Z	"
	90			Ecofarm-Anader-G.T.Z.	"
Mali	1 421	0,5	700	C.M.D.T.-F.A.O.-I.E.R.	Sub-humide
Nigeria	38	6,0	228	National Livestock	Humide
	589	4,5	2 467	Projects Department	Sub-humide
	3 539	0,4	1 220		Semi aride

D'après Elbasha *et al.* (1998)

Conclusion : l'amélioration des jachères, un potentiel sous-exploité

Les techniques d'amélioration de la production fourragère des jachères devraient permettre de récupérer une partie des ressources fourragères perdues du fait de la réduction des surfaces en jachère ou de leur dégradation par surpâturage. Les sursemis de légumineuses fourragères, en particulier de *Stylosanthes hamata*, devraient même étendre la fonction fourragère de la jachère à la saison sèche, tout en accélérant la restauration des stocks d'azote du sol. Cependant, la mise en œuvre de ces innovations se heurte à de nombreuses contraintes techniques ou financières, et surtout structurelles. En effet, elles exigent un changement du statut foncier des jachères qui, de public ou communautaire, doit être privatisé, au moins pour l'usufruit de l'aménagement pastoral.

Conclusion générale : la fonction fourragère et les autres fonctions de la jachère

Les jachères jouent un rôle clé dans le système fourrager, surtout par leur apport de fourrages de qualité au cours de la saison des pluies, et secondairement par l'apport de petites quantités de fourrages verts par les plantes ligneuses en fin de saison sèche. Il convient de déterminer l'influence de cette exploitation fourragère sur d'autres fonctions de la jachère que sont la production forestière et la restauration de la fertilité des sols. Dans les deux cas, les avis sont très divers et peu de données permettent de départager des opinions souvent tranchées (Lamprey & Yussuf, 1981 ; Sinclair & Frixel, 1985 ; Dodd, 1994).

D'une façon générale, l'exploitation pastorale favoriserait l'implantation et la production des ligneux :

- d'abord en réduisant la fréquence et l'intensité des feux ;
- ensuite en affaiblissant la concurrence des herbacées et particulièrement celle des herbacées pérennes ;
- enfin en favorisant l'implantation de certaines essences : *Faidherbia albida*, *Acacia raddiana*, *A. senegal*, *A. seyal*, *Bauhinia rufescens*, *Gardenia erubescens*, *Prosopis africana*, *Piliostigma* spp., etc., dont la dissémination est assurée par le bétail (Danthu *et al.*, 1996 ; Depommier, 1996 ; Devineau, 1999). Cependant, Danthu *et al.* (1996) et Depommier (1996) précisent que, contrairement à une idée très répandue, le passage par le tube digestif des animaux ne favorise pas la levée de dormance des semences.

Les essais d'effeuillage sélectifs et répétés ont montré que si la ramification et le port des ligneux étaient profondément modifiés, la production foliaire était peu affectée, stimulée ou ralentie suivant les espèces, les saisons, et l'intensité des défoliations (Cissé, 1980 ; Oba 1998). L'effet des émondages, qui ne sont pas spécifiques à la jachère, est plus sévère mais aussi très variable selon les espèces et saisons (Depommier & Guérin, 1996).

Le bilan de l'exploitation fourragère sur la restauration de la fertilité des sols est d'autant plus difficile à dresser que la remontée de la fertilité des sols est lente et qu'elle résulte de différents processus dont l'importance varie avec le type de sol et le climat. Dans le cas des jachères de courte durée, ou des premiers stades de la jachère, la remontée du stock de matière organique stable, celle de l'azote et du phosphore assimilable dans les premiers horizons, est contestée, même en absence de pâture (Charreau & Nicoud, 1971 ; Pieri, 1989). L'effet de la jachère courte proviendrait plus d'une réduction des pertes due à l'érosion et d'un ralentissement de la minéralisation du fait de la meilleure couverture du sol (Hoefslot *et al.*, 1993). La pâture ne devrait pas altérer ces tendances. En effet, le prélèvement fourrager et (ou) la réduction de la couverture végétale du sol sont limités, n'atteignant qu'exceptionnellement cinquante pour cent de la production végétale. De plus, une portion de la matière organique et des éléments minéraux ingérés par le bétail sont retournés sur les lieux de pâture, via les excréments, dont le dépôt stimule localement l'activité biologique (Rougon, 1987 ; Achard *et al.*, 1998). Sur quatre terroirs du sud-ouest du Niger, Hiernaux *et al.* (1998) et Achard & Banoïn (2000) estiment que vingt à vingt-quatre pour cent de la matière organique consommée sur les jachères sont restitués à ce milieu par les fèces. En outre, ils observent que, dans les jachères pâturées, le bilan entre ingestion et excrétion des minéraux par le bétail est négatif, mais pour des quantités très modestes, qui ont été estimées entre deux et cinq kilogrammes par hectare et par an pour l'azote et entre 0,1 et 0,6 kilogramme par hectare et par an pour le phosphore. D'autres effets de la pâture, tels que l'effet du piétinement sur les états de surface et sur la décomposition de la litière pourraient avoir plus d'impact sur la fertilité chimique des sols que le bilan des ingestions et excréments, en modifiant l'infiltration et en accélérant la minéralisation de la matière organique. Dans le cas des jachères longues, les processus sont identiques mais il s'y ajoute l'effet dépressif de la

pâture sur la croissance herbacée, qui défavorise les feux et accélère l'embroussaillage. Or, la remontée du stock de matière organique stable des sols proviendrait surtout de la décomposition des racines, feuillages et branches des plantes ligneuses (Hoefsloot *et al.*, 1993).

Remerciements

Les auteurs remercient Jean César et Hubert Guérin, du Cirad-E.M.V.T., Salvador Fernández-Rivera, de l'Illi, ainsi que Roger Pontanier et Anne Fournier, de l'I.R.D., qui ont bien voulu relire ce texte, y apporter les modifications nécessaires, et les faire profiter de leur grande expérience de l'écologie des jachères des zones soudanienne et soudano-guinéenne, et de leur rôle dans l'alimentation animale.

Références

- Abbadie L. (1984). « Évolution saisonnière du stock d'azote dans la strate herbacée d'une savane soumise aux feux en Côte d'Ivoire », *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum*, vol. V, n° 19 : pp. 321-334.
- Achard F. (1991). « Le *Pennisetum pedicellatum* Trin. utilisé pour la confection de foin à la station expérimentale de Gampéla, Ouagadougou, Burkina-Faso », *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, vol. XLIV, n° 2 : pp. 239-245.
- Achard F. (1992). « Phytomasse des savanes nord-soudaniennes de Gampéla, région de Ouagadougou, Burkina-Faso », in Le Floch *et al.* (éd., 1992) : pp. 297-310.
- Achard F. (1993). *Évolution récente de la végétation dans six stations au Burkina Faso*, th. doct., Inst. nat. polytech. de Toulouse, 276 p. + ann.
- Achard F. (1994). « La reconstitution de la végétation dans les jachères nord-soudaniennes du Burkina Faso », *Sécheresse, science et changements planétaires*, n° 5 : pp. 33-36.
- Achard F. & Banoïn M. (2000). « Production fourragère des jachères et transferts de fertilité par le bétail au Niger », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 546-554.
- Achard F. & Banoïn M., à paraître. « Fallow, forage production and nutrient transfers by livestock in Niger », *Nutrient Cycling in Agroecosystems*.
- Achard F. & Abou I. (1996). *La jachère dans les zones d'occupation anciennes du canton de Torodi, Niger : le cas du terroir de Ticko*, rapp., Niamey, Faculté d'agronomie, 20 p., multigr.
- Achard F., Ouattara L. & Banoïn M. à paraître. « Pullulation récente de *Sida cordifolia* L. au sud du Niger : facteurs prédisposants », *Annales de l'université de Niamey*, numéro spécial « jachères ».
- Achard F., Ouattara L. & Banoïn M. (1999). *Activités de recherche conduites sur le terroir de Ticko, résultats 1998*, Projet « Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest », Faculté d'agronomie-Orstom, Niamey, 36 p. + ann.
- Achard F., Ouattara L. & Banoïn M. (2000). *Activités de recherche conduites sur le terroir de Ticko, résultats 1999*, Projet « Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest », Faculté d'agronomie-I.D.R., Niamey, 40 p.
- Achard F., Banoïn M. & Bartholmey C. (1998). « Jachères, transferts de fertilité par le bétail et pratiques de fumure animale dans un terroir du sud ouest du Niger », in Dugué (éd., à paraître).
- Akpo L.E., Masse D. & Grouzis M. (2000). « Valeur pastorale de la végétation herbacée de jachères soudanaises en Haute Casamance, Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 493-502.
- Alexandre D.-Y. (1993). « Amélioration des jachères en zone de savane : l'expérience de reforestation des friches du Nazinon », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 396-403.
- Annor S.Y., Ibrahim S., Dodo R., Donkor J., Oppong Anane K. & Adongo S.A. (1998). « Preliminary investigation into the yield of *Stylosanthes hamata* cv. *verano* in northern Ghana », in Godet *et al.* (éd., 1998) : pp. 103-107.

- Aronson J., Floret Chr., Le Floch É., Ovalle C., & Pontanier R. (1993). « Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid regions. I. A view from the south », *Restoration Ecology*, n° 1 : pp. 8-17.
- Aubreville A. (1949). *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*, Paris, Soc. éd. géographiques, maritimes et coloniales, 351 p.
- Audru J. (1972). *Étude de factibilité des ranches d'Abokouamékro et de Sipilou en République de Côte d'Ivoire*, Maisons-Alfort (France), I.E.M.V.T., 154 p. (Étude agrostologique 35).
- Aweto A.O. (1981). « Secondary succession and soil fertility restoration in south-western Nigeria. I. Succession. II. Soil fertility restoration », *J. Ecol.*, n° 69 : pp. 601-614.
- Ayantunde A.A. (1998). *Influence of grazing regimes on cattle nutrition and performance and vegetation dynamics in Sahelian rangelands*, Ph D dissertation, Wageningen (Netherlands), Wageningen Agricultural University, 179 p.
- Ayantunde A.A., Hiernaux P., Fernandez-Rivera, van Keulen H. & Udo H.M.J. (1998). « Short term effects of grazing by cattle on herbage growth and disappearance in Sahelian rangelands », in Ayantunde (1998) : pp. 83-96.
- Banoïn M. & Achard F. (1997). *Sites, problématique, thèmes de recherche, premiers résultats sur Ticko et Bogodjotou*, rapp., Projet de recherche sur « l'amélioration et la gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest », faculté d'agronomie, Niamey, 13 p., *multigr.*
- Banoïn M. & Achard F. (1998). « Place des jachères dans les systèmes d'élevage et comportement alimentaire du bétail sur un terroir du sud ouest du Niger : Ticko », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 99-110.
- Banoïn M. & Guengant J.-P. (1998). « Les systèmes agraires traditionnels nigériens dans l'impasse face à la démographie », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 1-14.
- Behnke R.H.Jr. & Scoones L. (1993). « Rethinking range ecology : implications for range and livestock development in Africa », in Behnke et al. (éd., 1993) : pp. 1-30.
- Behnke R.H.Jr., Scoones L. & Kerven C. (éd.) (1993). *Range ecology at disequilibrium; new models of natural variability and pastoral adaptation in African savannas*, Londres, Odi, 248 p.
- Benoit M. (1984). *Le Sénégal ne doit pas mourir. Pastoralisme, vie sauvage et protection au Sahel*, Paris, Orstom, 142 p. (coll. *Mémoires*, n° 103).
- Bertrand A. & Berthe A.L. (1996). « Régénération dans le bassin du Poudji, au Mali, en fonction de la morphopédologie et des évolutions climatiques et agraires », in Peltier (éd., 1996) : pp. 45-54.
- Billaz R., Hien V., Segda Z. & Traore K. (2000). « Systèmes de culture permanente à jachère de courte durée », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 241-263.
- Bille J.-C. (1976). *Étude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien*, th. doct. sciences, univ. Paris-Sud, Paris, Orstom, 77 p. (coll. *Travaux et Documents*).
- Bille J.-C. (1992). « Tendances évolutives comparées des parcours d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique de l'Est », in Le Floch et al. (éd., 1992) : pp. 179-195.
- Blanfort V. (1991). *Contribution à l'établissement d'un bilan fourrager pour trois terroirs agropastoraux de Casamance, Sénégal*, vol. I, Maisons-Alfort (France)-Dakar, I.E.M.V.T.-Isra, 165 p.
- Boudet G. (1984). *Manuel sur les pâturages tropicaux et les ressources fourragères*, 4^e éd., Maisons-Alfort (France), I.E.M.V.T., 245 p. + ann.
- Bouzou Moussa I. (1998). « Évolution de l'occupation du sol dans deux terroirs nigériens : Bogodjotou et Ticko », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 15-24.
- Bowden B.N. (1964). « Studies on *Andropogon gayanus* Kunth. III. An outline of its biology », *J. of Ecology*, n° 52 : pp. 255-271.
- Breman H. (1982). « La productivité des herbes pérennes et des arbres », in Penning de Vries & Djiteye (éd., 1982) : pp. 284-304.
- Breman H. & Kessler J.J. (1995). *Woody Plants in Agro-Ecosystems of Semi-Arid Regions, with an Emphasis on the Sahelian Countries*, Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 340 p.
- Breman H. & Sissoko K. (éd.) (1998). *L'intensification agricole au Sahel*, Wageningen-Bamako, AB-D.L.O.-I.E.R. 996 p.
- Breman H. & Cissé M.I. (1977). « Dynamics of sahelian pastures in relation to drought and grazing », *Oecologia*, vol. XXVIII, n° 4 : pp. 301-315.
- Breman H. & De Ridder N. (1991). *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*, Paris-Wageningen (Pays Bas), A.C.C.T.-Cabo-Dlo-CTA, Karthala, 485 p.

- Breman H., Cissé I.B., Djiteye M.A. & Elberse W.Th. (1982-a). « Le potentiel botanique des pâturages », in Penning de Vries & Djiteye (éd., 1982) : pp. 98-192.
- Breman H., Cissé I.B. & Djiteye M.A. (1982-b). « Exploitation, dégradation et désertification », in Penning de Vries & Djiteye (éd., 1982) : pp. 352-386.
- Buckles D., Eteka A., Osiname O., Galiba M. & Galiano G. (eds) (1997). *Green manure cover crops : their contribution to sustainable agriculture in West Africa*, International Development Research Centre (I.D.R.C.)-International Institute of Tropical Agriculture (IITA)-Sasakawa-Global 2000, Cotonou, Benin.
- Buldgen A. & Dieng A. (1997). *Andropogon gayanus*, var. *bisquamulatus*. Une culture fourragère pour les régions tropicales, Gembloux (Belgique), Les Presses agronomiques de Gembloux, 171 p.
- Buldgen A., Dieng A., Detimmerman F. & Compere R. (1991-a). « La culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *bisquamulatus* en zone soudano-sahélienne sénégalaise. 2. Mise au point de techniques de production et de purification des semences et de semis, *Bull. Rech. Agron.*, vol. XXVI, n° 2 : pp. 297-312.
- Buldgen A., Dieng A., Detimmerman F. & Compere R. (1991-b). « La culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *bisquamulatus* en zone soudano-sahélienne sénégalaise. 5. Paramètres d'exploitation du pâturage par un troupeau de bovins », *Bull. Rech. Agron.*, vol. XXVI, n° 4 : pp. 455-469.
- Cesar J. (1981). « Cycle de la biomasse et des repousses après coupe en savane de Côte d'Ivoire », *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, vol. XXXIV, n° 1 : pp. 73-81.
- Cesar J. (1992). *Étude de la production biologique des savanes de Côte d'Ivoire et de son utilisation par l'homme. Biomasse, valeur pastorale et production fourragère*. Maisons-Alfort (France), I.E.M.V.T., 671 p.
- Cesar J. & Zoumana C. (1990). « Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres », in Pieri (éd., 1990) : pp. 271-287.
- Cesar J. & Zoumana C. (1993). « Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le nord de la Côte d'Ivoire », in Floret & Serpantie (éd., 1993) : pp. 415-434.
- Cesar J. & Zoumana C. (1996). *L'intégration des ligneux dans les jachères pastorales. Projet « recherche sur l'amélioration et la gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest »*, compte rendu technique n° 1, Bouaké (Côte-d'Ivoire)-Montpellier (France), Idessa-Cirad-E.M.V.T. 35 p. + ann.
- Cesar J. & Zoumana C. (1998). « Le rôle de la production fourragère dans l'équilibre biologique et la gestion du milieu », in Godet et al. (éd., 1998) : pp. 51-69.
- Charreau C. & Nicoud 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*, Paris, Irat, 254 p. (*Bull. agronomique*, n° 23).
- Chevalier G. (1994). *Caractérisation agro-sylvo-pastorale et utilisation des pâturages par les éleveurs en saison des pluies. Le cas de Kourouma au Burkina Faso*, mém. Eitarc, Montpellier, Cnéarc, 91 p. + ann.
- Chikoye D., Ekeleme F. & Akobundu I.O. (1997). « Weed composition and population dynamics in intensified smallholder farms in West Africa », *Proceedings of the 1997 Brighton Crop Protection Conference – weeds*, IITA, Ibadan : pp. 161-166.
- Cissé A.M. (1986). *Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud sahélienne*, th. doct., université agronomique de Wageningen (Pays Bas), 209 p.
- Cissé M.I. (1980). « Effect of various stripping regimes on foliage production of some browse bushes of the soudano-sahelian zone », in Le Houerou (éd., 1980) : pp. 211-214.
- Cissé M.I., Hiernaux P. & Diarra L. (1993). « Intégration agropastorale au Sahel : dynamique et potentiel fourrager des jachères », in Floret & Serpantie (éd., 1993) : pp. 405-413.
- Cléments F.E. (1936). « Nature and the structure of the climax », *J. Ecol.*, n° 24 : pp. 252-284.
- Colin De Verdière P. (1995). *Étude comparée de trois systèmes agropastoraux dans la région de Filingué, Niger. Les conséquences de la sédentarisation de l'élevage pastoral au Sahel*, th. doct., Institut national agronomique de Paris-Grignon (Inapg), université de Hohenheim, Allemagne, 198 p. + ann.
- Coulibaly D. (1996). *Recherche d'un modèle d'exploitation de Stylosanthes hamata en banque fourragère et en pâturage amélioré*, th. doct., Bamako-Wageningen (Pays Bas), I.E.R., 117 p. + ann. (rapport PSS, n° 20).

- D'herbes J.-M. & Valentin C. (1997). « Land surface conditions of the Niamey region : ecological and hydrological implication », *J. of Hydrology*, n° 188-189 : pp. 18-42.
- Danthu P., Ickowicz A., Friot D., Manga D. & Sarr A. (1996). « Effet du passage par le tractus digestif des ruminants domestiques sur la germination des graines de légumineuses ligneuses des zones tropicales sèches », *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, vol. IL, n° 3 : pp. 235-242.
- De Leeuw P.N. & Reid R. (1995). « Impact of human activities and livestock on the African environment : an attempt to partition the pressure », in Wilson *et al.* (éd., 1995) : pp. 29-39.
- De Leeuw P.N. (1997). « Crop residues in tropical Africa : trends in supply, demand and use », in Renard (éd., 1997) : pp. 41-77.
- De Miranda E.E. (1980). *Essai sur les déséquilibres écologiques et agricoles en zone tropicale semi-aride. Le cas de la région de Maradi au Niger. I – Qualification écologique de l'espace rural. II – Étude de trois villages Haoussas*, th. doct. ingén., uni. sciences et techniques du Languedoc (U.S.T.L.), Montpellier (France), 200 p. + ann.
- Delabre É. (1998). *Caractérisation et évolution d'écosystèmes anthropisés sahéliens : les milieux post-culturels du sud-ouest nigérien*, th. doct., univ. Paris-VI, 282 p.
- Dembele F., Masse D. & Yossi H. (1997). « Rôle des feux de brousse sur la dynamique des adventices et sur la qualité des sols au cours des premières années de jachère, dans les régions soudanaises du Mali », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 33-40.
- Depommier D. (1996). « Production fruitière et devenir des semences de *Faidherbia albida*. La part des insectes spermatophages et du bétail dans la régénération de l'espèce », in Peltier (éd., 1996) : pp. 9-22.
- Depommier D. & Guerin H. (1996). « Émondage traditionnel de *Faidherbia albida*. Production fourragère, valeur nutritive et récolte de bois à Dossi et Watinoma (Burkina Faso) », in Peltier (éd., 1996) : pp. 55-84.
- Devineau J.-L. (1986). *Impact écologique de la recolonisation des zones libérées de l'onchocercose dans les vallées burkinabè (Nazinon, Nakambé, Mouhoun, Bougouriba)*, rapport final, Projet de lutte contre l'onchocercose, Ouagadougou, Orstom-O.M.S./O.C.P., 2 vol., 109 p. + 42 cartes, multigr.
- Devineau J.-L. (1999). « Rôle du bétail dans le cycle culture-jachère en région soudanienne : la dissémination d'espèces végétales colonisatrices d'espaces ouverts (Bondoukuy, sud-ouest du Burkina Faso) », *Rev. Ecol. (terre et vie)*, vol. LIV : pp. 1-25.
- Devineau J.-L., Fournier A. & Kaloga B. (1997). *Les sols et la végétation de la région de Bondoukuy (ouest Burkinabé) : présentation générale et cartographie préliminaire par télédétection satellitaire (Spot)*, Paris, Orstom, 117 p.
- Diallo M.S. (1997). *Recherches sur l'évolution de la végétation sous l'effet du pâturage dans l'ouest du Burkina Faso (zone soudanienne). Cas de Bondoukuy, Kassahou et Kourouma*, th. doct. 3^e cycle, univers. de Ouagadougou, faculté des sciences et techniques, 142 p. + ann.
- Diarra L. (1983). *Production et gestion des parcours sahéliens : synthèse de cinq années de recherches au ranch de Niono*, Bamako, Cipea, DP AZ 94, 83 p.
- Diarra L., Coulbaly Y., Ouologuem B. & De Leeuw P.N. (1993). « Évaluation de la contribution des jachères à la production animale dans différents terroirs de la zone péri-urbaine de Bamako (Mali) », in Floret & Serpantie (éd., 1993) : pp. 435-450.
- Diatta A., Bodian A. & Babene D. (1998). « Production fourragère des graminées *Andropogon gayanus* Kunth. et *Panicum maximum* Jacq. Cv. C₁ utilisées en substitution de la jachère en Haute-Casamance, au Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 89-94.
- Diatta M. & Faye E. (1996). « Effet de quelques années de protection sur la jachère en zone sahélo-soudanienne du Sénégal : structure et production primaire », in Floret (1996) : pp. 33-41.
- Dieng A., Buldgen A. & Compere R. (1991-a). « La culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *bisquamulatus* en zone soudano-sahélienne sénégalaise. 1. Systématique, morphologie, dispersion et biologie de la variété cultivée », *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, vol. XXVI, n° 2 : pp. 279-296.
- Dieng A., Buldgen A. & Compere R. (1991-b). « La culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *bisquamulatus* en zone soudano-sahélienne sénégalaise. 3. Influence du système d'exploitation sur la production de fourrage », *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, vol. XXVI, n° 3 : pp. 337-349.

- Dieng A., Buldgen A. & Compere R. (1991-c). « La culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *bisquamulatus* en zone soudano-sahélienne sénégalaise. 4. Composition chimique et valeur alimentaire du fourrage », *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, vol. XXVI, n° 3 : pp. 351-366.
- Diop A.T. (1993). « La jachère dans l'alimentation des animaux domestiques au Sénégal. Importance et modes d'utilisation », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 451-460.
- Dodd J.L. (1994). « Desertification and degradation in sub-saharan Africa. The role of livestock », *Bioscience*, vol. XLIV, n° 1 : pp. 28-34.
- Donfack P. (1993). « Dynamique de la végétation après abandon de la culture au Nord Cameroun », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 319-330.
- Donfack P. (1998). *Végétation des jachères du Nord-Cameroun, typologie, diversité, dynamique, production*, th. doct. d'État, univers. de Yaoundé, 184 p. + ann.
- 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. Étude de cas au Nord-Cameroun, et essai de généralisation*, Montpellier (France), Cirad, 180 p. (Doc. Cirad-Tera, n° 57/99).
- Dugué P., (éd.), à paraître. *Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs*, actes de l'atelier, Montpellier, 5-6 mai 1998, Montpellier, Cirad-Tera.
- Elbasha E.H., Thornton P.K. & Tarawali G. (1998). *An Ex-Post Economic Impact Assessment of Planted Forages in West Africa*, Nairobi, Ilri, 61 p. (Impact Assessment Series 2).
- Eldridge D. & Freudenberger D. (éd.) (1999). *People and Rangelands building the Future*, VI International Rangeland Congress, Aitkenvale (Qld, Australia), 1054 p.
- Ellis J.E. & Swift D.M. (1988). « Stability of pastoral ecosystems : alternate paradigms and implications for development », *J. Range Management*, n° 41 : pp. 450-459.
- Fall-Toure S., Richard D., Friot D., Nolan T., Connolly J. & Sall C. (1992). *Nutritive value of some tree forage species available in sahelian pastures*, Dakar, Isra-L.N.E.R.V., 26 p.
- Floret Ch., éd. (1996). *La jachère lieu de production*, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 2-4 oct. 1996, C.N.R.S.T.-Orstom.
- Floret Ch. & Serpantié G. (éd.) (1993). *La jachère en Afrique de l'Ouest*, Paris, Orstom (coll. *Colloques et séminaires*), 494 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (1984). « Aridité climatique, aridité édaphique », *Bull. Soc. bot. Fr. 131, Actual. Bot.*, n° 2-3-4 : pp. 265-275.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1997). *Jachères et maintien de la fertilité*, Bamako, I.E.R.-Orstom.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (1998). *Jachères et systèmes agraires*, Niamey, 30 sept.-2 oct. 1998, Faculté d'agronomie-I.R.D. (ex-Orstom).
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar, Sénégal, 13-16 avr. 1999, vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : le point des connaissances*, Paris, John Libbey, 804 p., 356 p.
- Fournier A. (1991). *Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique*, Paris, Orstom, 312 p. (coll. *Études et thèses*).
- Fournier A. (1994). « Cycle saisonnier et production nette de la matière végétale herbacée en savanes soudanaises pâturées. Les jachères de la région de Bondoukoy (Burkina Faso) », *Écologie*, t. XXV, n° 3 : pp. 173-188.
- Fournier A. (1996). « Dans quelle mesure la production nette de matière végétale herbacée dans les jachères en savane soudanienne est elle utilisable pour le pâturage ? », in Floret (éd., 1996) : pp. 101-111.
- Fournier A. & Nignan S. (1997). « Quand les annuelles bloquent la succession postculturale ... Expérimentations sur *Andropogon gayanus* en savane soudanienne (Bondoukuy, Burkina Faso) », *Écologie*, t. XXVIII, fasc. 1 : pp. 13-21.
- Fournier A., Floret Ch. & Gnahoua G.M. (2001). « Végétation des jachères et succession postculturale en Afrique tropicale », in Floret & Pontanier (éd., 2001) : vol. II, pp. 123-168.
- Fournier A., Hien M. & Millogo-Rasolodimby J. (2000). « La jachère de moins de cinq ans en savane soudanienne : richesse floristique, structure de la végétation, espèces indicatrices. Cas de Bondoukuy (sud-ouest du Burkina Faso) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 390-399.
- Friedel M.H. (1994). « How spatial and temporal scale affect the perception of change in rangelands », *Rangeland J.*, n° 16 : pp. 16-25.
- Gaston A., Kernick M. & Le Houerou, H.N. (éd.) (1991). *Actes du IV^e Congrès international des terres de parcours*, Montpellier (France), 22-26 avr. 1991.

- Gent P. van & Moussa B. (1995). *Capacité de charge de deux terroirs villageois (rapport provisoire)*, Projet participatif de renforcement des institutions villageoises pour le développement de l'agriculture du département de Tahoua, Niger, rapp., 93 p. + ann., multigr.
- Godet G., Grimaud P. & Guerin H. (1998). « Cultures fourragères et développement durable en zone sub humide », in Godet *et al.* (éd., 1998) : pp. 5-8.
- Godet G., Grimaud P. & Guerin H. (éd.) (1998). *Cultures fourragères et développement durable en zone sub humide*, actes de l'atelier régional, Korhogo (Côte-d'Ivoire), 26-29 mai 1997, Cirdes-Idessa, Cirad-E.M.V.T.
- Grillet C. & Villeneuve F. (1994). « Les tanins dans les fourrages ligneux », in Cirad-E.M.V.T. (éd., 1994) : chap. VI, 34 p.
- Grouzis M. (1988). *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (mare d'Oursi, Burkina Faso)*, th. doct. d'État, sciences naturelles, univers. Paris-Sud, 336 p.
- Guerin H. & Rippstein G. (éd.) (1987). *Actes du séminaire régional sur les fourrages et l'alimentation des ruminants*, 16-20 nov. 1987, N'Gaoundéré (Cameroun), I.E.M.V.T. (Études et synthèses de l'I.E.M.V.T., n° 30).
- Cirad-E.M.V.T. (1994). *Valeur alimentaire des fourrages ligneux consommés par les ruminants en Afrique centrale et de l'ouest*, Guerin (éd., 1994), Commission des Communautés européennes, DG-XII, Programme ST2.A/89/215.F, Cirad-E.M.V.T., Maisons-Alfort (France), 393 p.
- Haque I., Jutzi S. & Neate P.J.H. (éd.) (1986). *Potentials of forage legumes in farming systems of sub Saharan Africa*, Proceedings of a workshop held at Ilca, Addis Ababa, 16-19 sept. 1985, Addis Ababa, Ilca.
- Hiernaux P. (1984). *Distribution des pluies et production herbacée au Sahel, une méthode empirique pour caractériser la distribution des précipitations journalières et ses effets sur la production herbacée. Premiers résultats acquis dans le Sahel malien*, Bamako, Cipea, 48 p. + ann. (Doc. de travail, n° 001/92).
- Hiernaux P. (1998). « Effects of grazing on plant species composition and spatial distribution in rangelands of the Sahel », *Plant Ecology*, n° 138 : pp. 191-202.
- Hiernaux P. & Turner M.D. (1996). « The effect of clipping on growth and nutrient uptake of sahélian annual rangelands », *Journal of Applied Ecology*, n° 33 : pp. 387-399.
- Hiernaux P. & Fernandez-Rivera S. (1995). « Grazing Effects of Goat-sheep Mixes on Vegetation Structure and productivity of Old Fallow in the Sahel », in West (éd., 1995) : pp. 230-231.
- Hiernaux P. & Fernandez-Rivera S. (1999). « Grazing rotation in the annual-dominated rangelands of the Sahel », in Eldridge & Freudenberger (éd., 1999) : pp. 513-514.
- Hiernaux P., Ayantunde A., De Leeuw P.N., Fernandez-Rivera S., Sangare M. & Schlecht E. (1999). « Foraging efficiency, stocking rate and grazing pressure and livestock weight changes in the Sahel », in Eldridge & Freudenberger (éd., 1999) : pp. 511-512.
- Hiernaux P., de Leeuw P.N. & Diarra L. (1995). « The interactive effects of rainfall, nutrient supply and defoliation on the herbage yields of sahelian rangelands in north-east Mali », in Powell *et al.* (éd., 1995) : pp. 337-352.
- Hiernaux P., Fernandez-Rivera S., Schlecht E., Turner M.D. & Williams T.O. (1998). « Livestock-mediated nutrient transfers in Sahelian agro-ecosystems », in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 339-347.
- Hoefsloot H., van der Pol F. & Roelvelde L. (1993). *Jachères améliorées, options pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'Ouest*, Amsterdam (Pays Bas), Institut royal des tropiques, Kit développement agricole, 86 p. (bull. 333).
- Hoffmann O. (1985). *Pratiques pastorales et dynamique du couvert végétal en pays Lobi (Nord-est de la Côte-d'Ivoire)*, Paris, Orstom, 355 p. (coll. Travaux et documents, n° 189).
- Ickowicz A., Usengumuremyi J., Badiane A., Richard D., Colley F. & Dupressoir D. (1998). « Interactions entre jachère et systèmes d'alimentation des bovins. Choix techniques et dynamique de développement (zone soudanienne, Sénégal) », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 123-138.
- Illius A.W. & O'connor T.G. (1999). « When is grazing a major determinant of rangeland condition and productivity? », in Eldridge & Freudenberger (éd., 1999) : pp. 419-424.
- Inhaler I. (1998). *Evaluation de l'effet résiduel des différentes techniques de réhabilitation des sols encroûtés sur la végétation des jachères de Banizoumbou, Niger*, mém. ingén. techniques agricoles, faculté d'agronomie de Niamey, 35 p. + ann.
- Kaasschieter G.A., Coulibaly Y. & Breman H. (1998). « Classification des fourrages et suppléments », in Breman & Sissoko (éd., 1998) : pp. 314-335.

- Karembe M. (2000). *Production végétale et utilisation des ressources pastorales des jachères en zone soudanienne au Mali*, th. 3^e cycle, université du Mali, Bamako, Isfra.
- Karembe M., Yossi H., Ballo M. & Coulibaly M. (1998). « Jachères et système d'élevage en zone soudanienne du Mali (terroir villageois de Missira) », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 110-122.
- Kassoum I. (1999). *Étude des populations de Guiera senegalensis, et de leur production de bois dans les jachères du sud-ouest du Niger : terroir de Ticko*, mém. D.A.A. Eaux et Forêts, École supérieure d'agronomie de Yamoussoukro-Orstom Niamey, 30 p.
- Kaufman R. von & Mohamed-Saleem M.A. (1989). « Interaction between agronomy and economics in forage legume research », *Ilca bulletin*, n° 35 : pp. 22-27.
- Kiema S. (1992). *Utilisation pastorale des jachères dans la région de Bondoukuy, zone soudanienne du Burkina Faso*, mém. D.E.S.S., « Gestion des systèmes agrosylvopastoraux en zone tropicale », univers. Paris-XII, 89 p. + ann.
- Kodio A. (1985). *Contribution à l'étude d'un aménagement biogéographique d'une zone rurale de savane tropicale : le secteur de Fonsébougou (Mali)*, th. doct. 3^e cycle, univers. Paul-Sabatier, Toulouse (France) ; 175 p.
- Koita B. (1998). *Végétation postculturale en zone soudanienne du Sénégal*, th. doct., univers. de Corse, 169 p.
- Kone A.R., Richard D. & Guerin H. (1989). « Teneurs en constituants pariétaux et en matières azotées des ligneux fourragers d'Afrique Occidentale », *XVI^e Congrès international des herbages*, Nice (France) : pp. 947-948.
- Kone A.R., Guerin H. & Richard D. (1987). « Contribution à la mise au point d'une méthode d'étude de la valeur nutritive des fourrages ligneux », in Guérin & Rippstein (éd., 1987) : pp. 789-809.
- Lamprey H.F. & Yussuf H. (1981). « Pastoralism and desert encroachment in Northern Kenya », *Ambio*, n° 10 : pp. 131-134.
- Lane C. & Moorehead R. (1995). « New directions in rangeland resources tenure and policy », in Scoones (éd., 1995) : pp. 116-133.
- Le Bourgeois T. & Merlier H. (1995). *Adventrop. Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*, Montpellier (France), Cirad-C.A., 640 p.
- Le Floch'h, É., Grouzis M., Cornet A. & Bille J.-C. (éd.) (1992). *L'aridité, une contrainte au développement : caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés*, Paris, Orstom (coll. Didactiques), 597 p.
- Le Houerou H.N. (éd.) (1980). *Browse in Africa, the current state of knowledge*, Addis Ababa, Ilca, 491 p.
- Leloup S. & Traore M. (1990). *La situation fourragère dans le sud-est du Mali, une étude agroécologique*, doc. Interne, Sikasso-Bamako, D.R.S.P.R.-C.R.Z., Kit Amsterdam, vol. I, nov. 1989, vol. II, déc. 1990.
- Leonard J. & Rajot J.-L. (1998). « Restoration of infiltration properties of crusted soils by mulching », in Renard et al. (éd., 1998) : pp. 191-196.
- Louppe D. (1991). « *Guiera senegalensis* espèce agro-forestière ? », *Bois et forêts des tropiques*, n° 228 : pp. 41-47.
- Louppe D., Ouattara N., Zoumana C. & César J. (2000). « Influence de trois ruminants domestiques, sur la dynamique de la végétation des jachères du nord de la Côte-d'Ivoire », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 524-533.
- Mahamane A. (1997). *Structure, fonctionnement et dynamique des parcs agroforestiers dans l'ouest du Niger*, th. doct. 3^e cycle, univers. de Ouagadougou, 212 p. + ann.
- Malam Abdou M. (1998). *Analyse floristique et structurale de la végétation de l'agrosystème du Dallol Bosso, entre les latitudes 13°30 et 14° nord (Niger)*, mém. D.E.A., univers. de Ouagadougou, faculté des sciences et techniques, 78 p. + ann.
- Malam Issa O. (1999). *Étude du rôle des croûtes microbiotiques dans les sols de deux écosystèmes sahéliens (jachères et brousse tigrée) au Niger : micromorphologie, propriétés physiques et biogéochimiques*, th. doct., Laboratoire de géologie de la matière organique, univers. d'Orléans (France), 188 p. + pl. et ann.
- Mando A. (1997). « Termites and mulch mediated rehabilitation of vegetation on crusted soil in the Sahel », in Mando (éd., 1997), *Tropical Ressource Management Paper 16*, Wageningen agricultural university (Pays Bas) : pp. 69-82.
- Mando A., éd. (1997). *The rôle of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soils*, *Tropical Ressource Management Paper 16*, Wageningen agricultural university (Pays Bas), 101 p.

- Mando A., Zougmore R., Zombre P.N. & Hien V. (2000). « Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique sub-saharienne », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I.
- Manlay R.J., Masse D., Diatta M. & Kaire M. (1997). « Ressources organiques et gestion de la fertilité du sol sur un terroir agro-pastoral de Casamance (Sénégal) », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 1-16.
- Manlay R.J., Kaire M., Masse D., Ciernei G. & Floret Chr., à paraître. « Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna – I. The plant component under shifting cultivation », *Agr. Ecosyst. Environ.*
- Manzo M. (1996). *Étude des jachères dans l'ouest du Niger : gestion traditionnelle et structure du peuplement végétal dans le canton de Torodi*, th. doct. 3^e cycle, univers. de Ouagadougou, faculté des sciences et techniques, 117 p. + ann.
- McCooch L.J. (1994). « Understanding ecological community succession : models and theories, a review », *Vegetatio*, n° 110 : pp. 115-147.
- Miehe S. (1998). *Inventaire et suivi de la végétation dans le périmètre expérimental à Windou Thien-goly dans le cadre du Projet Sénégal-Allemand d'autopromotion pastorale dans le Ferlo (PAPP)*, Saint-Louis (Sénégal), G.T.Z., 49 p. + ann.
- Mitja D. (1990). *Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Booro Borotou, Toubra)*, th. doct., univers. Paris-VI, 371 p.
- Mohamed Salem M.A., Suleiman H. & Otsyina R.M. (1986). « Fodder banks : for pastoralists or farmers », in Haque et al. (éd., 1986) : pp. 420-437.
- Nickling A.U. & Wolfe W.G. (1994). « The morphology and origin of nebkhas, region of Mopti, Mali, West Africa », *Journal of Arid Environments*, vol. XXVIII, n° 1 : pp. 13-30.
- Oba G. (1998). « Effects of excluding goat herbivory on *Acacia tortilis* woodland around pastoralist settlements in northwest Kenya », *Acta Oecologica*, vol. XIX, n° 4 : pp. 395-404.
- Ohler F.M.J.M. (1985). « The fuelwood production of wooded savanna fallows in the Sudan zone of Mali », *Agrofor. Syst.*, n° 3 : pp. 15-23.
- Olina J.-P. & Dugué P. (2000). « Utilisation des légumineuses pour l'amélioration des jachères de courte durée et la production de fourrage au Nord Cameroun septentrional », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 561-568.
- Otsyina R.M., von Kaufmann R., Mohamed Saleem M.A. & Suleiman H. (1987). *Manual on fodder bank establishment and management*, Addis Ababa, Ilca, 27 p.
- Ouadba J.M. (1983). *Essai d'analyse diachronique de l'occupation des sols en Haute-Volta par photo-interprétation et télédétection*, th. doct. 3^e cycle, univers. Paul-Sabatier, Toulouse (France), 262 p.
- Ouédraogo S. & Alexandre D.-Y. (1996). « Dynamique des parcs à *Faidherbia albida*. Contraintes écologiques et économiques sur le terroir de Watinoma, au Burkina Faso », in Peltier (éd., 1996) : pp. 191-202.
- Peltier R. éd. (1996). *Les parcs à Faidherbia*, Coraf-Orstom-Cirad, (Cahiers scientifiques, n° 12), 312 p.
- Penning de Vries F.W.T. (1982). « Le potentiel physiologique des pâturages et des cultures agricoles », in Penning de Vries & Djiteye (éd., 1982) : pp. 87-97.
- Penning de Vries F.W.T. & Djiteye M.A. (éd.) (1982). *La productivité des pâturages sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle*, Wageningen, Agric. Res. Rep. 918, Pudoc, 525 p.
- Pieri C. (1989). *Fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*, Paris, ministère de la Coopération-Cirad-Irat, 444 p.
- Pieri C., éd. (1990). *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, Paris-Montpellier, ministère de la Coopération et du Développement-Cirad.
- Powell J.M., Fernández-Rivera S., Williams T.O. & Renard C. (éd.) (1995). *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa*, vol. II, Addis Ababa, Ilca, 560 p.
- Reed J.D., Rittner U., Tanner J. & Wiegand O. (1993). « Valeur nutritive des feuilles et des fruits de *Faidherbia albida* et leur emploi dans l'alimentation des ruminants », in Vandenbelt & Renard (éd., 1993) : pp. 43-50.
- Reiss D., Onana J., Klein H.D. & Djoumessi M. (1997). « Introduction de légumineuses fourragères dans les assolements : gestion des pâturages naturels », in Seiny Boukar et al. (éd., 1997).

- Renard C., Boudouresque E., Schmelzer G. & Bationo A. (1993). « Évolution d'une jachère sur une période de 8 ans à Sadoré, Niger. Composition botanique et régénération forestière », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 297-306.
- Renard C. éd. (1997). *Crop residues in sustainable crop/livestock farming systems*, Wallingford (UK), Cab International, 322 p.
- Renard G., Neef A., Becker K. & von Oppen (éd.) (1998). *Soil Fertility Management in West Africa Land Use Systems*, Proceedings of the Regional Workshop, University of Hohenheim, Icrisat Sahelian Center and Inran, 4-8 March 1997, Niamey, Niger, Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, 600 p.
- Richard D., Ahokpe B., Blanford V. & Pouye B. (1991). « Utilisation des zones agricoles et pastorales par les ruminants en zone soudanienne (Moyenne Casamance, Sénégal) », in Gaston et al. (éd., 1991) : pp. 759-762.
- Rietkerk M., Ketner P., Stroosnijder L. & Prins H.T. (1996). « Sahelian rangeland development ; a catastrophe ? », *Journal of range management*, vol. IL, n° 6 : pp. 512-519.
- Rippstein G. & Peyre De Fabregues B. (1972). *Modernisation de la zone pastorale du Niger*, Maisons-Alfort (France), I.E.M.V.T., 285 p. + ann. (*Étude agrostologique*, n° 33).
- Rougon D. (1987). *Coléoptères coprophiles en zone sahélienne : étude biocénétique, comportement nidificateur, intervention dans le recyclage de la matière organique du sol*, th. doct. sciences, univers. d'Orléans (France), 324 p.
- Scoones I., éd. (1995). *Living with uncertainty, new directions in pastoral development in Africa. Intermediate Technology Publications*, Londres, Intermediate Technology Publications Ltd., I.I.E.D., London, 210 p.
- Seghier J., Floret Chr. & Pontanier R. (1994). « Development of an herbaceous Cover in a Sudano-Sahelian savanna in North Cameroon in relation to available soil water », *Vegetatio*, n° 114 : pp. 175-184.
- Seignobos C. (1996). « *Faidherbia albida* – Élément décrypteur d'agrosystèmes. L'exemple du Nord-Cameroun », in Peltier (éd., 1996) : pp. 153-172.
- Seiny Boukar L., Poulain J.-F. & Faure G. (éd.) (1997). *Agriculture des savanes du Nord Cameroun : vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale*, actes de l'atelier d'échange, Garoua (Cameroun), 25-29 nov. 1996, Montpellier (France), Cirad-C.A., 528 p.
- Serpantié G. & Madibaye D. (1998). « Recherches participatives sur la culture d' *Andropogon gayanus* Kunth var. *tridentatus* Hack. en zone soudanienne. II. Essais participatifs d'installation de peuplements (Bondoukuy et Bereba, Burkina Faso) », in Godet et al. (éd., 1998) : pp. 191-204.
- Serpantié G., Thomas J.N. & Douanio M. (2000). « Évolution de la place de la jachère en savane soudanienne cotonnière. Le cas de la région de Bondoukui », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 80-91.
- Serpantié G., Douanio M. & Madibaye D. (1998). « Recherches participatives sur la culture d' *Andropogon gayanus* Kunth. var. *tridentatus* Hack. En zone soudanienne. I. Opportunité de cette culture et éléments d'écologie », in Godet et al. (éd., 1998) : pp. 181-190.
- Sinclair A.R.E. & Fryxell J.M. (1985). « The Sahel of Africa : ecology of a disaster », *Canadian Journal of Zoology*, n° 63 : pp. 987-994.
- Tarawali G. (1991). « The residual effect of *Stylosanthes* fodder banks on maize yield at several locations in Nigeria », *Tropical Grasslands*, vol. XXV : pp. 26-31.
- Tarawali G. (1994). « The yield and persistence of selected forage legumes in subhumid and semi-arid west Africa », *Tropical grasslands*, vol XXVIII : pp. 80-89.
- Tarawali G. & Mohamed Salem M.A. (1993). « The role of forage legume fallows in supplying improve feed and recycling nitrogen in subhumid Nigeria », in Powell et al. (éd., 1993) : pp. 263-276.
- Tarawali G., Dembele E., N'Guessan B. & Youri A. (1998). « Smallholders' use of *Stylosanthes* for sustainable food production in sub-humid West Africa », in Buckles et al. (eds., 1998) : pp. 107-170.
- Tarawali G., Manyong V.M., Carsky R.J., Vissoh P.V., Osei-Bonsu P. & Galiba M. (1999). « Adoption of improved fallows in West Africa : lessons learned from the velvet bean and stylo case studies », *Agroforestry Systems*, n° 47 : pp. 93-122.
- Tilho J. (1914). *Les documents scientifiques de la mission Tilho (1906-1909)*, Paris, Imprimerie nationale, 3 vol. 412 p., 3 613 p., 485 p.
- Toledo M., Vera R., Lascano C. & Lenne J.M. (1990). *Andropogon gayanus Kunth., a grass for tropical acid soils*, Cali (Colombie), Ciat, 382 p.

- Toulmin C. (1992). « Herding contracts. For better or worse ? », *Ileia Newsletter*, vol. VIII, n° 3 : pp. 8-9.
- Traore M. (1997). « Utilisation de l'*Andropogon gayanus* pour l'amélioration de la production fourragère et la fertilité des sols en zone de savane » in Floret (éd., 1996) : pp. 113-121.
- Turner M.D. (1992). *Life on the margin. Fulbe herding practices and the relationship between economy and ecology in the inland Niger delta of Mali*. Ph D dissertation, University of California, Berkeley (É.-U.A.), 469 p.
- United Nation (1996). *World Population Prospects : The 1996 revision. Annexe II and III. Demographic indicators by major area, region and country*, New-York, United Nation, 441 p.
- Vandenbeldt R.J. & Renard C. (éd.) (1993). *Faidherbia albida dans les zones tropicales semi-arides d'Afrique de l'Ouest*, compte rendu d'atelier, Niamey, 22-26 avr. 1991, Icrisat-Icraf, 206 p.
- West N.E. (éd.) (1995). *Rangelands in a sustainable biosphere*, vol. II, Proceedings of Fifth International Rangeland Congress, Salt Lake City (Utah), 23-28 juill. 1995, Denvers (É.-U.A.), Society for Range Management, vol. I, 651 p., vol II, 202 p.
- Westoby M., Walker B. & Noy-Meir I. (1989). « Opportunistic management for rangelands not at equilibrium », *J. Range Management*, n° 42 : pp. 266-274.
- White F. (1986). *La végétation de l'Afrique*, Paris, Orstom-Unesco, 384 p.
- Whittaker R.H. (1953). « A consideration of climax theory : the climax as a population and pattern », *Ecol. Mon.*, n° 23 : pp. 41-78.
- Wilson R.T., Ehui S. & Mack S. (éd.) (1995). *Livestock Development Strategies for Low Income Countries*, Nairobi, Kenya, FAO-Ilri, 182 p.
- Winrock International (1992). *Assessment of animal agriculture in sub saharan Africa*, Morrilton, Arkansas (É.-U.A.), Winrock International Institute for Agricultural Development, 125 p.
- Wood P.J. (1993). « Botanique et distribution de *Faidherbia albida*. », in Vandenbeldt & Renard (éd., 1993) : pp. 9-17.
- Yossi H. & Dembele F. (1993). « Dynamique de la végétation post-culturelle en zone soudanienne, au Mali. Evolution de la composition floristique et de la strate ligneuse », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 341-350.
- Yossi H. (1996). *Dynamique de la végétation postculturelle en zone soudanienne au Mali*, th. doct., population-environnement, Isfra, université de Bamako, 154 p.
- Yossi H., Kaya B. & Sanogo M. (2000). « Influence de la jachère améliorée avec l'association ligneux-herbacées sur l'amélioration de la production fourragère et la fertilité du sol. Cas du terroir de N'Goukan, cercle de Koutiala, Mali méridional », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 000-000.
- Zoumana C., Assemian A., Bodji N., César J., Kouao B.J. & Toure M.C. (1994). *Accroissement de la production fourragère au niveau du terroir (Côte d'Ivoire)*, compte rendu final, ATP 71/89, Bouaké (Côte-d'Ivoire)-Montpellier (France), Idessa-Cirad-E.M.V.T., 153 p.
- Zoumana C., Yesso P. & Cesar J. (1996). « La production des jachères pâturées dans le nord de la Côte-d'Ivoire », in Floret (éd., 1996) : pp. 113-121.
- Zougrana I. (1993). « Les jachères nord soudanienne du Burkina Faso. 1. Analyse de la reconstitution de la végétation herbacée 2. Diversité, stabilité et évolution des communautés végétales », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 351-366.

Systèmes de culture permanente à jachère de courte durée en zone tropicale

René Billaz*, Victor Hien**, Zacharie Segda***, Karim Traoré****

Le raccourcissement des temps de jachère, sous l'influence de la pression démographique et de la diversification des systèmes de culture et d'élevage a été abondamment documenté (Floret *et al.*, 1993). Cette synthèse est consacrée aux jachères de courte durée dans le cadre des systèmes de culture permanente qui se pratiquent à l'intérieur d'un espace fini, celui des exploitations et des terroirs. La durée de la jachère est alors fixée par les disponibilités foncières.

Ce problème prend en Afrique des proportions alarmantes pour l'avenir proche ; en 2010, l'accroissement démographique des populations rurales et urbaines se traduira en effet de la façon suivante : les espaces à faible densité (moins de 20 hab.km⁻²) seront limités aux zones forestières et semi-désertiques, ceux à densité élevée (plus de 100 hab.km⁻²) seront en revanche beaucoup plus étendus qu'en 1975, alors même que la demande alimentaire urbaine aura crû dans des proportions considérables (Scet *et al.*, 1984). La jachère améliorante de très courte durée sera alors une nécessité cruciale aussi bien pour les agriculteurs que pour les ressources naturelles qu'ils utilisent.

Si l'agriculteur dispose de plusieurs années (de l'ordre de 5 ans), la solution des jachères arborées (arbres à croissance rapide) ou arbustives (*Cajanus* sp., *Sesbania* sp.) est envisageable : elle est abordée dans une autre synthèse de ce volume.

Dans le cas de durées inférieures (de l'ordre de 1 à 2 ans), qui risque donc d'être à moyen terme le plus fréquent, on ne dispose pas de temps suffisant pour le développement d'arbres à croissance rapide : on ne peut avoir recours qu'à une végétation herbacée. C'est dans ce cadre que se situent les travaux dont nous rendons compte ci-dessous.

Définitions et place de la jachère de courte durée dans les systèmes agraires

Définitions

La jachère se définit comme :

l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. Elle se caractérise entre autres par sa durée par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre, par les rôles qu'elle remplit

Sebillotte (1985)

* 186, Chemin des Fesquets, 34820 Assas (France).

** Inera, B.P. 7192 Ouagadougou 03 (Burkina Faso).

*** Inera, station de Kouaré, B.P. 208, Fada N'Gourma (Burkina Faso).

**** Inera, station de Farako-Bâ, 01 B.P. 910 Bobo-Dioulasso 01 (Burkina Faso)

Selon Nye & Greenland (1960), les fonctions d'une jachère sont de :

- restaurer le niveau des éléments nutritifs ;
- restaurer le niveau de carbone et d'améliorer la structure du sol ;
- supprimer les mauvaises herbes ;
- supprimer les pestes et les parasites ;
- diminuer l'érosion.

La jachère naturelle

La *jachère naturelle* est une jachère de longue durée (10 à 20 ans). Le sol est au repos sous végétation naturelle ; c'est une pratique courante dans l'agriculture extensive traditionnelle. Elle n'est pas applicable dans une agriculture intensive d'exploitation continue du sol, en vue d'augmenter la productivité.

La jachère améliorée

La *jachère améliorée* ou *jachère cultivée* consiste à remplacer la jachère naturelle, composée principalement d'herbacées annuelles et d'arbustes, par des plantes améliorantes semées (graminées ou légumineuses), de façon à arriver en peu de temps (6 mois à 3 ans), à reconstituer l'effet positif d'une jachère naturelle de 10 ans (Hoefsloot *et al.*, 1993). *L'utilisation par le bétail de la biomasse végétale ainsi constituée, si elle a lieu, est fortuite ou éventuelle.* En cultures intensives, elle s'intègre méthodiquement dans l'assolement pour assurer efficacement la conservation de la fertilité du sol. Selon Hoefsloot *et al.* (1993), les objectifs d'une jachère améliorée dans l'assolement sont l'augmentation du niveau de matière organique dans le sol, l'augmentation du niveau d'éléments nutritifs dans le sol, la diminution des problèmes d'érosion et la production de fourrage amélioré pour compléter le fourrage naturel afin d'augmenter la productivité de l'élevage.

La sole fourragère ou jachère améliorée exploitée par le bétail

Avec la sole fourragère ou jachère améliorée exploitée par le bétail, *la valorisation par le bétail de cette biomasse végétale est systématique.* Les fonctions d'une sole fourragère sont de restaurer la capacité de production d'un sol par plusieurs années de culture et d'améliorer la productivité animale en fournissant un fourrage de bonne qualité.

Selon Hoefsloot *et al.* (1993), les facteurs permettant à une sole fourragère d'améliorer les propriétés du sol et d'approvisionner la culture suivante en azote sont le niveau de fertilisation et les rendements de la biomasse qui en résulte, le taux de graminées dans la végétation de la sole fourragère, le niveau d'exploitation et la durée de la sole fourragère.

Les jachères de courte durée s'observent dans des situations de forte contrainte foncière, liées à des densités de population élevées (de l'ordre de 30 à 50 hab.km⁻²) à très élevées (plus de 200 hab.km⁻²) : il s'agit de communes et de villages dont les exploitations ont été constituées et les terroirs organisés depuis de nombreuses décennies (Ruthenberg, 1980). Le recours à des jachères permettant la reconstitution de la végétation climacique n'étant plus possible, les propriétés initiales du sol (niveau de matière organique, états de surface, fertilité du profil cultural, stocks de graines d'adventices) ne sont plus remplies : les cultures suivantes souffrent dès leur installation de handicaps graves (Pieri, 1989 ; Sedogo, 1993).

Ces jachères de courte durée sont d'une très grande diversité : les différentes conditions agro-écologiques et socio-économiques (dont la densité de population) prévalentes entre régions et terroirs en sont une première cause, à laquelle s'ajoute celle qui résulte des modes d'organisation et d'exploitation de ces terroirs (nature des systèmes de cultures dans les auroles de cultures, gestion individuelle et collective des ressources fourragères...) [figure 1].

Ruthenberg (1980) en a donné de nombreux exemples. Des études locales récentes, plus spécialement préoccupées des contraintes liées à la gestion de la fertilité, rendent compte de cette extrême diversité : Dugué *et al.* (1997), pour le Nord du Cameroun ; Floquet *et al.*

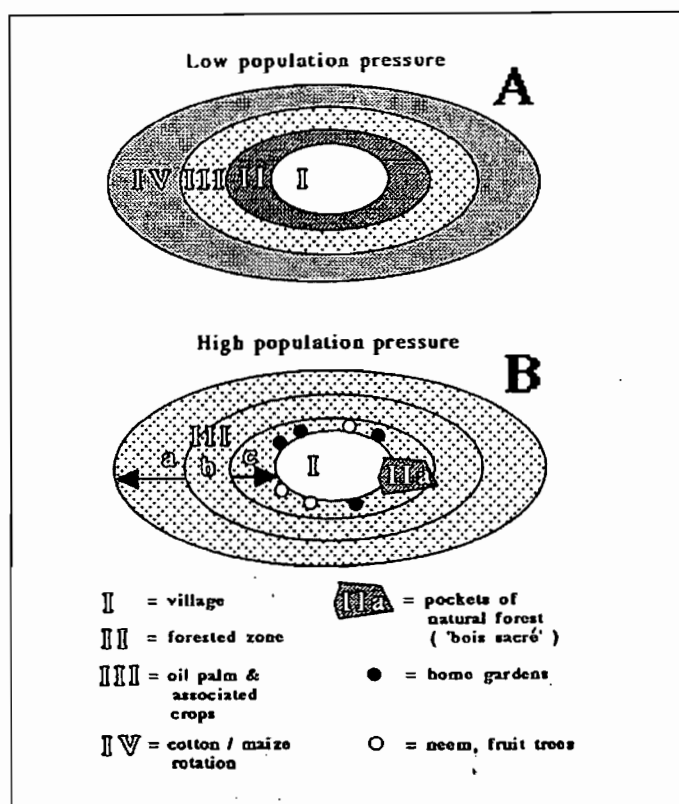


Figure 1. Évolution de l'utilisation du sol dans les villages du Plateau d'Adja, au Sud Bénin, (Koudokpon, 1994).

(1995), pour le bas Bénin ; Tarawali *et al.* (1998), pour les zones sub-humides du Mali, de Côte-d'Ivoire, du Nigeria et du Cameroun).

Face à une telle diversité, il n'y a pas de « recette » unique pour enrayer la dégradation du milieu. Aucune solution n'ayant pu être trouvée pour lever ces contraintes, les producteurs se trouvent démunis face à la baisse des rendements.

En effet, le recours aux pratiques ancestrales n'est d'aucune utilité, dès lors que la durée des jachères baisse rapidement et que le développement des cultures de rente, l'accroissement des effectifs du bétail puis le besoin d'intensifier les productions vivrières ne cessent de modifier les systèmes de culture et d'élevage (Koudokpon *et al.*, 1994). Les innovations apparues spontanément – en l'absence de références locales issues de la recherche – ont été par exemple le fait de certains agriculteurs motorisés du Paraná, au Brésil, qui sous la pression de la nécessité, ont mis au point le semis direct dans la paille (Billaz & Palma, 1997 ; Derpich, 1999) et des groupes indiens du Guatemala qui se sont réappropriés l'usage de *Mucuna pruriens*, délaissé par les compagnies bananières (Buckles, 1995). Dans les deux cas, il s'agit de solutions endogènes originales.

L'étude des jachères est longtemps restée l'apanage des chercheurs en géographie et en écologie ; la rareté des travaux de recherche agronomique a eu pour conséquence une étude insuffisante des systèmes de culture et une sous-valorisation des résultats des travaux sur les plantes de couvertures, antérieurs à 1960. C'est au cours des années quatre-vingt que les travaux dans ces domaines se sont intensifiés et diversifiés.

Problématiques et objectifs des systèmes de cultures à jachères courtes

Les objectifs socio-économiques

La restauration du potentiel productif des ressources agro-écologiques doit tenir compte des conditions socio-économiques de mise en œuvre par les producteurs des techniques proposées (pénibilité, productivité et rémunération du travail, diversification et sécurisation des productions...). La connaissance des pratiques des producteurs et la validation en milieu réel des propositions issues des stations doivent donc faire partie intégrante des activités de la recherche.

Les objectifs agronomiques

Les objectifs recherchés dans la mise en place d'une jachère consistent à :

(i) améliorer les caractéristiques chimiques du sol (niveau des réserves de nutriments). Les jachères forestières y contribuent très significativement, comme l'ont montré des études déjà anciennes (Nye & Greenland, 1960). C'est également le cas de jachères arbustives améliorées de moyenne durée (Szott & Palm, 1996, pour les sols ferrallitiques de l'Amazonie péruvienne ; Harmand, 1998, pour les sols ferrugineux tropicaux du Cameroun septentrional). Encore faut-il l'obtenir dans les limites d'une jachère de courte durée ; Hien *et al.* (1993) rendent compte de cette problématique pour différents systèmes de culture du Burkina Faso ;

(ii) favoriser les activités biologiques : en effet, il ne suffit pas de restaurer le niveau des réserves de nutriments ; Koudokpon *et al.* (1994) a évalué la capacité prédictive des rendements du modèle Quefts⁽¹⁾ de plusieurs champs cultivés du bas Bénin et conclut :

the total nutrient levels actually found are not the first cause explaining the low average yields found.

L'auteur estime, avec Lal (1988) et avec Raunet (1971) que le niveau des activités biologiques du sol – manifesté entre autres par la présence de vers de terre, de termites, d'arthropodes divers... – est essentiel pour maintenir les structures du sol, et recommande l'incorporation de biomasse fraîche pour faciliter la décomposition de la matière organique stable ;

(iii) augmenter la teneur en matière organique du sol : celle-ci contribue non seulement à la stabilité des agrégats mais aussi à la capacité d'échange cationique (C.E.C. ; Pavan *et al.*, 1985, pour les sols bruns et ferrallitiques au Brésil ; Guyotte *et al.*, 1997, pour les évolutions parallèles de la matière organique, du pH et de la capacité d'échange cationique en fonction de l'ancienneté de la mise en culture dans des sols ferrugineux tropicaux du Nord du Cameroun ; Sedogo, 1993, pour les sols ferrugineux lessivés du plateau central du Burkina Faso). De nombreuses études ont montré la baisse rapide des teneurs en matière organique du sol après défrichement en conditions tropicales (Nye & Greenland, 1960 ; Sedogo, 1981 ; Pieri, 1989 ; Sedogo, 1993) ;

(iv) restaurer l'état de surface du sol, en éliminant l'encroûtement superficiel produit par l'instabilité croissante des agrégats sous l'action des pluies et ses conséquences sur le ruissellement et l'érosion. Ces processus ont été amplement décrits par de nombreux auteurs (Roose, 1993). Derpsch *et al.* (1991) indique que la seule présence de couvertures perma-

(1) Qui se base, selon l'auteur, sur les indicateurs de fertilité suivants : pH, teneurs en C, P205 et K2O échangeables.

nentes est susceptible de prévenir les effets de l'encroûtement et de permettre la reconstitution d'états de surface satisfaisants.

(v) à favoriser des enracinements puissants et profonds qui contribuent à améliorer la porosité du sol et le recyclage des nutriments – en limitant les effets de la lixiviation. En effet, les travaux réalisés par Abbadie *et al.* (1992), ont montré que les racines de savanes herbacées contribuent à l'approvisionnement rapide en azote des plantes. Or César & Coulibally (1993), cités par Floret *et al.* (1993) n'observent en conditions naturelles des biomasses racinaires importantes (plus de 15 t m.s.ha⁻¹) que dans le cas de jachères de longue durée. Depuis longtemps les chercheurs de Bambey, au Sénégal, avaient attiré l'attention sur la nécessité et les conditions de l'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche d'Afrique de l'Ouest (Charreau & Nicou, 1971).

(vi) à diminuer la pression des adventices et des ravageurs (nématodes, etc.), cause très fréquente de la mise en jachère des parcelles cultivées.

Le défi est de favoriser, durant des jachères de courte durée, le développement de plantes à croissance très rapide, assurant une couverture complète du sol et d'enracinement puissant.

Contributions des jachères de courte durée à la réalisation de ces objectifs

De nombreux travaux (voir encadré, p. 246), dont ceux rapportés par Buckles (1995), Buckles & Triomphe (1997), Carsky (1998-b) et Vissoh *et al.* (1998) ont été consacrés à l'étude du comportement de quelques légumineuses herbacées, dont principalement le *Mucuna pruriens* aux États-Unis d'Amérique, au Nigeria et en Côte-d'Ivoire. Dans la zone tropicale d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie, de nombreux travaux ont été menés, portant sur le criblage de légumineuses herbacées, dont *M. pruriens*, *Aescchynomene histrix*, *Arachis pintoï*, *Calopogonium mucunoïdes*, *Canavalia ensiformis*, *Cassia rotundifolia*, *Centrosema pubescens*, *C. ternatea*, *Crotalaria* sp., *Desmodium distortum*, *D. tortuosum*, *D. ovalifolium*, *Dolichos lablab*, *Macroptilium atropurpureum*, *M. lathyroides*, *Pueraria phaseloides*, *Stylosanthes guianensis*, *S. hamata*, *Tephrosia* sp.

On dispose donc maintenant de nombreuses données concernant la croissance et le développement de ces espèces, et aussi, dans de nombreux cas, la fixation symbiotique de l'azote, les rendements des cultures qui leur succèdent (principalement le maïs chez les paysans d'Afrique et d'Amérique centrale).

Il s'agit principalement des travaux présentés dans l'encadré ci-contre, axés sur le criblage d'espèces d'une part et l'intégration dans les systèmes de culture d'autre part.

Plusieurs espèces, dont *Calopogonium mucunoïdes*, *Canavalia ensiformis*, *Cassia rotundifolia*, *Centrosema pubescens*, *C. ternatea*, *Crotalaria* sp., *Dolichos lablab*, *Macroptilium atropurpureum*, *M. lathyroides*, *Mucuna pruriens*, *Pueraria phaseloides*, *Stylosanthes guianensis*, *S. hamata*, *Tephrosia* sp. manifestent ainsi de très intéressantes propriétés de couverture du sol, de concurrence active contre des adventices aussi redoutables que *Imperata cylindrica*, *Striga hermontica* ou *Cyperus rotundus*, et de fixation d'azote, celle-ci pouvant atteindre plus de deux cents kilogrammes par hectare et par an : elles répondent ainsi à plusieurs des objectifs assignés aux jachères de courte durée. Elles présentent donc des avantages certains par rapport à de nombreuses solutions agroforestières, non seulement pour la très courte durée de leur développement, mais aussi par l'absence des inconvénients liés aux différentes versions de l'*alley cropping* : concurrence pour l'espace disponible, effets d'ombrage, et temps de travail nécessaire pour l'émondage et la création des couvertures (Kang *et al.*, 1990).

Afrique de l'Ouest et centrale

Criblage

Becker *et al.* (1998-a) : cinquante-quatre espèces en Afrique de l'Ouest. Bodji & Kore (1998) : deux espèces de graminées et huit de légumineuses à Touba (Côte-d'Ivoire). Charpentier (1995) : quarante-six espèces dans le Nord de la Côte-d'Ivoire. Carsky *et al.* (1998-a) : *Mucuna pruriens*, *Canavalia ensiformis* et *Crotalaria ochroleuca* au Nord du Cameroun. Segda *et al.* (1998) : sept espèces de légumineuses au Sud-Ouest du Burkina Faso. Klein (1998, 1999) : huit espèces de graminées et dix-huit de légumineuses dans neuf pays. Youri (1998) : comportement de trois espèces de légumineuses au Nord du Cameroun.

Intégration dans les systèmes de cultures

Bengaly (1998) a étudié *Dolichos lablab* avec le maïs au Sud du Mali. Charpentier (1995) a étudié dans le Nord de la Côte-d'Ivoire l'introduction de *Pueraria phaseloides* dans les systèmes de cultures à base de maïs et de coton. Chikoye *et al.* (2000) ont étudié l'effet de *Pueraria phaseloides* sur la dynamique des adventices du manioc et du maïs au Nigeria. Dembele (1998) a expérimenté *Stylosanthes hamata* et *Aeschynomene histrix* comme sole fourragère pluriannuelle dans les systèmes de culture à base de coton au Mali. Djenonin & Amidou (2000) ont étudié l'introduction de la jachère couvée dans les systèmes de culture du Nord du Bénin. Dogbe (1998) rapporte des travaux sur les engrais verts au Nord du Ghana. Dovonou *et al.* (1998) a étudié la dynamique de la culture de *Mucuna pruriens* dans une commune du Bénin. Kouassy (2000) a étudié l'utilisation des plantes de couverture pour l'amélioration des jachères en culture de canne à sucre en Côte-d'Ivoire. Kouyate *et al.* (1998) rend compte de travaux sur engrais verts et systèmes de cultures au Mali. Olina & Dugue (2000) ont étudié l'utilisation des légumineuses pour l'amélioration des jachères de courte durée et la production de fourrage au Nord du Cameroun. Reiss *et al.* (1997) ont comparé le comportement de plusieurs espèces dans trois sites contrastés du Nord du Cameroun et ont étudié leur place dans les systèmes de cultures. Segda *et al.* (1998-a et b) ont étudié l'amélioration du sol par les légumineuses de couverture au Burkina Faso.

Slaats (1997) a étudié les jachères à *Chromolaena odorata* dans les systèmes de culture du Sud-Ouest ivoirien. Tarawali *et al.* (1998) ont centré leurs travaux sur l'utilisation de *Stylosanthes* dans des exploitations paysannes des savanes sub-humides de quatre pays d'Afrique de l'Ouest (Mali, Côte-d'Ivoire, Cameroun, Nigeria). Toe & Kanwe (1998) ont fait la synthèse des

travaux réalisés au Burkina Faso sur l'amélioration du disponible fourrager. Versteeg *et al.* (1998) rendent compte de travaux visant à accroître l'emploi de *Mucuna pruriens* au Bénin.

Afrique de l'Est et australe, océan Indien

Criblage

Rollin (1997) et Seguy (1998) ont étudié le comportement et la gestion de plusieurs espèces, à Madagascar.

Intégrations dans les systèmes de cultures

Coc *et al.* (1997) ont étudié le comportement de *Tephrosia vogelii* et du maïs dans soixante sites, en Afrique du Sud. Fischler & Wortmann (1997) a comparé *Crotalaria ochroleuca*, *Dolichos Lablab* et *Mucuna pruriens* comme engrais vert dans les systèmes de cultures à base de maïs et haricot, en Uganda. Hayes *et al.* (1997) ont étudié l'action potentielle des jachères améliorées sur la productivité et la sécurité alimentaire des petits producteurs, au Malawi. Kumwenda *et al.* (1997) ont comparé les effets de diverses espèces, dont *Mucuna pruriens*, comme précédent du maïs au Malawi. Malley (1997) a étudié *Crotalaria* sp. en jachère améliorée du maïs en Tanzanie. Muza (1998) a étudié le comportement de quelques espèces et leur effet comme précédent du maïs, au Zimbabwe. Samson (1997) a étudié divers légumineuses de couvertures pour l'amélioration de la culture du maïs, au Kenya. Seguy (1998) a étudié la gestion de plusieurs espèces, à Madagascar.

En Amérique

Buckles *et al.* (1998-b) ont étudié, au Honduras atlantique, des parcelles paysannes utilisant *Mucuna pruriens* comme précédent du maïs et dont certaines ont plus de vingt ans d'âge. Seguy (1997), a comparé le comportement et la gestion de nombreuses espèces dans les *Cerrados* brésiliens.

En Asie

Balbarino *et al.* (1997) ont étudié l'action de *Mimosa invisa* comme plante améliorante aux Philippines. Hairiah *et al.* 1998 ont étudié le comportement de *Pueraria phaseloides* et ses effets sur le sol, en Indonésie. Le Trong Tuc (1997) a étudié le comportement de *Tephrosia candida* comme précédent du manioc, au Vietnam.

Place des jachères de courte durée dans les systèmes de culture et de production

Les jachères dans les systèmes de culture

Les assolements annuels sont fonction de la situation de l'exploitation selon qu'elle recherche l'autosuffisance alimentaire et (ou) l'obtention de revenus monétaires ainsi que la capitalisation (sous forme de bétail par exemple).

La jachère intervient en fin de rotation et sa durée est liée à plusieurs facteurs dont les plus importants sont la disponibilité en terres cultivables, en main-d'œuvre et en équipements (R.S.P., 1991). Cependant, de façon générale, elle arrive plus tôt chez les petits exploitants qui doivent remédier au manque de fertilité par la mise en jachère d'une partie de leur exploitation.

Mode de gestion des jachères améliorées

Le mode d'emploi de ces espèces de couverture demande à être défini pour chaque système de culture. En effet :

(i) selon la taille de leurs graines et la facilité de leur récolte le semis présentera plus ou moins de difficultés techniques et (ou) financières ; selon leur abondance, leur rémanence dans le sol, leur potentiel séminal, leur potentiel semencier élevé et leur rapidité de germination les risques de « pollution » vis-à-vis des cultures voisines ou successives seront différents ; enfin la durée de leurs cycles (annuels, pluriannuels ou vivaces) et leur port (volubile, érigé ou rampant) vont être déterminants des conditions de concurrence avec les cultures associées et successives (Klein, 1998).

(ii) un autre choix décisif est celui des modalités de gestion permettant de bénéficier au mieux des apports de ces jachères : convient-il de les brûler ? de les enfouir (option engrais vert) ? de les maintenir en pratiquant le zéro labour (option semis direct) ?

(iii) se pose en outre la question de leur place dans les systèmes de cultures : viendront-elles, le temps de leur installation, en substitution des productions habituelles ? Peut-on les semer en association avec les cultures principales sans pénaliser celles-ci ni leur installation ? Peut-on en attendre des revenus spécifiques (pâtures, vente de foin, de graines, ...) ?

(iv) reste enfin la question de l'incidence des modes collectifs de gestion de l'espace (feux, vaine pâture) sur leur développement, voire leur survie, en saison sèche : la vaine pâture revêt comme on le sait une importance particulière en Afrique, où elle est très généralement pratiquée ; les feux de saisons sèche constituent une menace grave, en Amérique comme en Afrique, quand le volume de la végétation résiduelle est conséquent (Donfack, 1997 ; Peltier & Eyog Matig, 1988).

Solutions en matière de gestion des systèmes de cultures permanents

Les nombreux travaux conduits ces deux dernières décennies, et particulièrement depuis dix ans, ont profondément modifié les perspectives, jusque là passablement incertaines, des jachères de courte durée, en définissant des conditions tout à fait originales de gestion des plantes de couverture.

Suivant l'usage qui en sera fait par les producteurs, ces jachères seront, comme on l'a dit plus haut, des jachères cultivées ou des soles fourragères. Dans certains cas, ces plantes améliorantes peuvent être semées dans les cultures précédentes, ce qui présente des avantages importants du point de vue de la protection des sols et des coûts d'installation. On parle

alors de cultures dérobées. *Quoi qu'il en soit de ces différentes solutions, les successions culturales se caractérisent par l'absence de périodes sans cultures (alimentaires, commerciales, fourragères ou améliorantes). Les systèmes de cultures sont alors permanents.*

Le cas de *Mucuna pruriens*

Les résultats rapportés par plusieurs auteurs (Buckles, 1995 ; Azotonde *et al.*, 1998 ; Buckles *et al.*, 1998 ; Carsky *et al.*, 1998-b ; Vissoh *et al.*, 1998) montrent que l'utilisation, déjà ancienne, de cette légumineuse a connu des fortunes diverses mais qu'elle se généralise rapidement dans plusieurs pays. On peut à l'heure actuelle parler d'une véritable *révolution* technique, maintenant établie sur des bases scientifiques solides.

Historique

M. pruriens a été introduite en Floride (USA) à la fin du siècle dernier comme plante de couverture dans les vergers d'agrumes et, plus tard (1914), dans les États du Sud, où elle connut un succès considérable (2 000 000 ha en 1917 ; Coe, 1918, cité par Buckles, 1995). Elle était utilisée comme engrais vert, en précédant du maïs et du coton et les agriculteurs appréciaient ses propriétés nettoyantes et fertilisantes (apport d'azote). Ils l'utilisaient également pour l'alimentation du bétail, en substitution des graines de coton. Ce n'est qu'avec l'apparition du soja comme culture commerciale (1920) et l'abaissement ultérieur (1940) du prix des engrais que cette culture a diminué progressivement pour disparaître complètement au cours des années soixante.

Au Nigeria (Ibadan), des recherches de longue durée ont été entreprises dès les années vingt pour l'amélioration des jachères par *M. pruriens* (Faulkner, 1934 ; Agboola & Fayemi, 1971). Malgré les résultats très favorables et les campagnes intensives de vulgarisation, les taux d'adoption sont restés très faibles. Des échecs similaires ont été rapportés dans le Sud de la Côte-d'Ivoire au cours des années cinquante.

En Amérique centrale, *M. pruriens* a été introduite dès les années vingt par les compagnies bananières, comme couverture dans les plantations et pour l'alimentation des mulets qui étaient utilisés pour le transport. La substitution des mulets par les tracteurs a entraîné la disparition progressive de *M. pruriens* des plantations commerciales. Elle fut utilisée plus tard par certains indiens du Guatemala pour l'amélioration du sol – avec le maïs comme plante principale – et l'alimentation du bétail. Du Guatemala, *M. pruriens* a diffusé vers le Mexique, Belize, puis le Honduras, où son usage a cru de façon spectaculaire au cours des années quatre-vingt.

On notera qu'en Mésomérique l'extension de *M. pruriens* dans les systèmes de cultures paysans fondés sur le maïs s'est effectuée, jusqu'aux années soixante, de façon spontanée, sans intervention des structures de recherche.

Développements récents

En Afrique, c'est sans conteste au Nigeria et au Bénin que les connaissances et les pratiques concernant les successions maïs-*Mucuna* ont le plus progressé ces dernières années (Osei-Bonsu, 1996 ; Carsky *et al.*, 1998-b ; Galiba *et al.*, 1998 ; Vissoh *et al.*, 1998). En Amérique, les développements les plus importants ont eu lieu dans l'isthme centro-américain (Buckles *et al.*, 1998).

Les connaissances agronomiques

Buckles (1995) précise que la taxonomie employée actuellement pour désigner les différents types de *Mucuna* n'est pas cohérente et demande à être précisée, quelques désignations pouvant être synonymes. Les espèces les plus couramment citées (Buckles, 1995 ; Lorenzet-

ti *et al.*, 1998) sont *M. pruriens* (L.) DC var. *utilis* (Wight) Burck, *M. cochinchinensis*, *M. derinjana*, *M. nivea*, *M. capitata*, *M. hasjoo*, *M. diabolica*, *M. Aterima*.

Le genre *Mucuna* serait synonyme de *Stizolobium* (Buckles, 1995; Lorenzetti *et al.*, 1998).

Le *Mucuna* est une légumineuse annuelle, sarmenteuse à croissance vigoureuse rampante, légèrement côtelée de plus de six mètres de long (sur support elle peut atteindre plus de 10m); les feuilles sont grandes et lisses, la terminale ovale et allongée et les latérales obliques, de vingt à vingt-cinq centimètres de long et de 7,5 à 12 centimètres de large; les fleurs sont des racèmes allongés (Skerman, 1982).

Plusieurs utilisations des graines de *Mucuna* ont été rapportées en Afrique de l'Ouest et au Mozambique (Buckles, 1995; Osei-Bonsu & Buckles, 1996). Ces auteurs rapportent que les haricots de *Mucuna* sont couramment utilisés dans l'alimentation traditionnelle des populations dans les soupes et les ragoûts. Toutes les variétés de *Mucuna* sont connues sous le nom de *adua-apia* dans le langage Ashanti. Les différents modes de préparation sont également rapportés (Osei-Bontu *et al.*, 1995). Cependant, ces auteurs notent que ces haricots doivent être consommés avec modération et précaution (pas plus d'une dizaine de graines par personne, et il faut jeter l'eau de cuisson). En effet Buckles (1995) rapporte que les graines contiennent la levodopa et le N-Diméthyltryptamine (DMT). Le levodopa est une substance chimique utilisée dans le traitement de la maladie de Parkinson, mais elle peut également être toxique, provoquant des vomissements et de la confusion mentale chez l'homme (Buckles, 1995; Osei-Bonsu & Buckles, 1996). Par ailleurs, les propriétés hallucinogènes du N-Diméthyltryptamine sont bien connues (Buckles, 1995).

De nombreux travaux rendent compte des effets de *M. pruriens* sur le maïs et sur les caractéristiques du sol (au Bénin : Koudokpon *et al.*, 1994; Azotonde *et al.*, 1998; Sanginga *et al.*, 1996; Versteeg *et al.*, 1998; Vissoh *et al.*, 1998; au Honduras : Triomphe, 1996; Buckles *et al.*, 1998-b).

(i) les résultats montrent que la plante de couverture peut avoir un développement spectaculaire si les conditions d'implantation sont satisfaisantes : la quantité de matière sèche des parties aériennes varie entre 3,6 et 12 tonnes par hectare selon les conditions climatiques (Carsky *et al.*, 1998-b). Au Honduras, Buckles *et al.* (1998-b) rapportent des valeurs variant entre 7,0 et 16,3 tonnes, en parcelles paysannes.

(ii) de ce fait, les quantités de matière organique et d'éléments minéraux susceptibles d'être restitués au sol (en l'absence de brûlis et de pâture) sont très appréciables. Une expérimentation conduite au Bénin, entre 1988 et 1996, sur sol ferralitique, par Azotonde *et al.* (1998), conduit aux valeurs indiquées dans la figure 2.

Les éléments contenus dans une couverture représentant 6,4 tonnes de matière sèche (dont 1,1 pour les racines) sont les suivantes :

- trois cent quarante kilogrammes d'azote (dont 50 pour les racines);
- cent vingt kilogrammes de phosphore (dont 20 pour les racines);
- deux cent quatre-vingts kilogrammes de potassium (dont 22 pour les racines);
- quarante-cinq kilogrammes de calcium (dont 7 pour les racines);
- cent dix kilogrammes de magnésium (dont 20 pour les racines).

Au Honduras, en parcelles paysannes, Buckles *et al.* (1998-b) ont trouvé dans les parties aériennes des valeurs moyennes de vingt kilogrammes par hectare de phosphore, cent de potassium, cent quarante de calcium et vingt-sept de magnésium.

De telles valeurs correspondent aux besoins des principales cultures annuelles, intensives (Billaz *et al.*, 2000).

(iii) Becker & Johnson (1998), Carsky *et al.* (1998-b), Billaz (1999), indiquent des valeurs d'azote accumulé de l'ordre de deux cents kilogrammes par hectare. Buckles *et al.* (1998-b), ont trouvé, dans une centaine de parcelles paysannes, des valeurs moyennes de deux cent

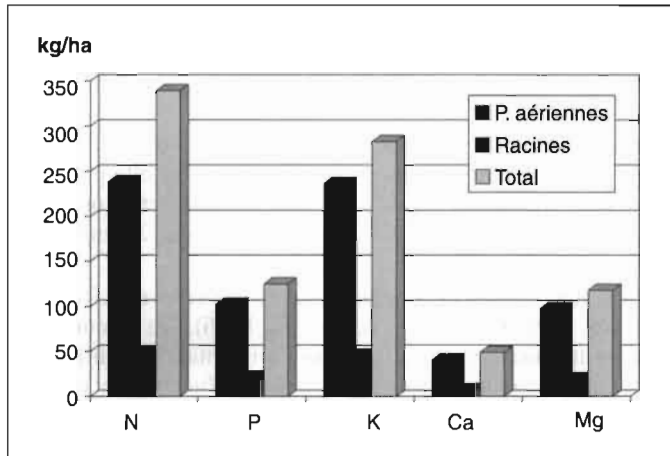


Figure 2. Stocks d'éléments minéraux dans *M. pruriens* (Azotonde, 1998).

quatre-vingt-quinze kilogrammes par hectare dans les parties aériennes, dont plus de la moitié dans la litière, dont la décomposition, dans les quatre-vingts jours qui suivent son rabattage, fournit au sol environ cent kilogrammes d'azote. Toutefois, les conditions de la fixation sont loin d'être toujours optimales (Hansen, 1994; Kimou & Zengbe, 1994). En effet Sanginga *et al.* (1996) ont montré qu'il existe une grande variabilité dans la nodulation de *M. pruriens* du fait d'une présence inégale de *Rhizobia* spp. efficaces dans un échantillon de parcelles paysannes du Nigeria. Le poids frais des parties aériennes est corrélé positivement avec le nombre de nodules. Il en va d'ailleurs de même de la présence de mycorhizes (VAM) dont la variabilité affecte positivement la croissance des parties aériennes.

(iv) *M. pruriens* est un excellent précédent pour le maïs : dans l'essai de longue durée rapporté par Azotonde *et al.* (1998), on note des accroissements continus du rendement du maïs, sans apport d'engrais, de 0,5 à 3,5 tonnes par hectare. Par comparaison, les rendements du maïs conduit sans couverture, avec une fumure NPK standard, n'ont atteint que 2,5 tonnes par hectare (figure 3). On notera que *M. pruriens*, dans ce cas, a été ressemé chaque année. Lorsqu'il est semé un an sur deux, la progression des rendements du maïs est inférieure à celle de la conduite sans couverture, avec engrais (2 t.ha⁻¹ en 1996). Sanginga *et al.* (1996), ont observé également que soixante-dix pour cent de l'azote du maïs provient de *M. pruriens*.

Au Honduras, les rendements de maïs après *Mucuna pruriens* dans les champs paysans sans apports d'engrais étudiés par Buckles *et al.* (1998-b) sont de l'ordre de 3,8 à 4 tonnes (moyenne interannuelle). Les rendements tendent à augmenter au cours des trois premières années, pour se stabiliser ultérieurement. Le niveau des réserves du sol y est suffisamment élevé pour que l'apport d'engrais azoté ou phosphaté aux doses courantes n'ait que des effets modestes (inférieurs à 10 p. cent) sur le rendement.

(v) Les caractéristiques physiques du sol sont considérablement améliorées : on observe une structure grumeleuse et la porosité est sensiblement plus élevée (Azotonde *et al.*, 1998; Buckles *et al.*, 1998-b; Vissoh *et al.*, 1998). Ces derniers auteurs soulignent l'amélioration des conditions d'alimentation hydrique des cultures (contrôle de l'érosion, accroissement de l'infiltration).

(vi) Ces caractéristiques chimiques et physiques sont à mettre en relation avec l'enracinement de *Mucuna* ainsi qu'avec la présence de vers de terre : Vissoh *et al.* (1998) indiquent qu'au Ghana sous un mulch de deux ans de *Mucuna pruriens* (13,8 t.ha⁻¹ de matière sèche)

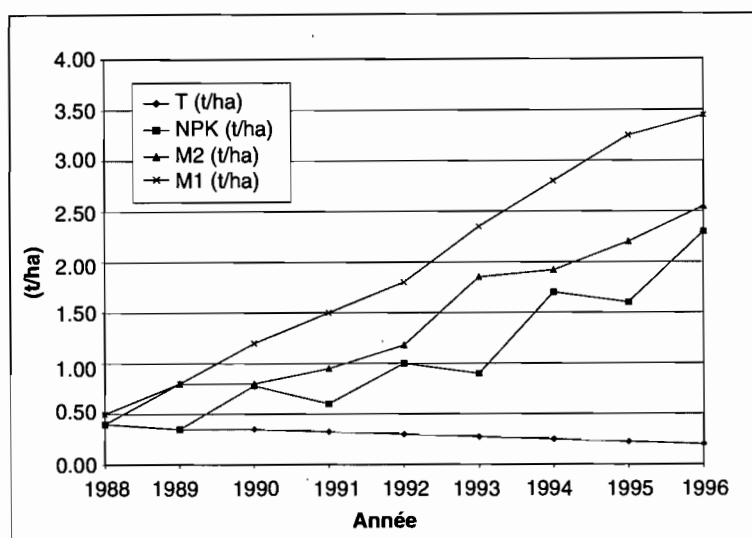


Figure 3. Rendements en grains du Maïs sous quatre modes de gestion (station d'Agonkanmey, Sud du Bénin; Azotonde, 1998). Dans cette expérimentation de longue durée, quatre modes de gestion ont été comparés : (M1) *Mucuna pruriens* semé tous les ans ; semis direct du maïs tous les ans ; (M2) *Mucuna pruriens* semé tous les deux ans ; (NPK) semis direct du maïs tous les ans ; maïs cultivé tous les ans, avec fumure azote-phosphore-potassium : deux cents kilogrammes par hectare de (15, 15, 15) plus cent kilogrammes par hectare d'urée ; (T) plus maïs cultivé tous les ans, sans engrais. On note la supériorité constante, et cumulative, du précédent *Mucuna* semé tous les ans par rapport à la culture recevant une fumure annuelle.

on observe 4,1 millions de vers de terre par hectare, représentant un poids de 21,6 tonnes. Avec un mulch de niébé, on observe quatre fois moins de vers de terre pour un poids sept fois inférieur.

(vii) Les caractéristiques chimiques du sol (carbone organique, azote total, bases échangeables, C.E.C.) sont également très supérieures après huit ans de succession annuelle *Mucuna*-maïs (Azotonde *et al.*, 1998).

(viii) *M. pruriens*, dans de bonnes conditions de développement, concurrence très efficacement *Imperata cylindrica* ; après quatre mois, l'adventice a disparu, et la viabilité de ses rhizomes a diminué de moitié : par comparaison, la parcelle témoin (désherbage manuel) a encore près de cent cinquante pieds par hectare (Vissoh *et al.*, 1998).

Place de *M. pruriens* dans les systèmes de cultures fondés sur le maïs : les pratiques paysannes

Buckles (1995) et Vissoh *et al.* (1998) citent respectivement, pour le Honduras et le Bénin, des effectifs de plusieurs milliers de paysans ayant adopté *M. pruriens*, particulièrement comme précédent du maïs. En Amérique centrale (projet Priag par exemple) et au Mexique, ainsi que dans de nombreux pays africains au sud du Sahara (voir encadré), des organisations non gouvernementales (exemple de Sasakawa 2000 en Afrique de l'Ouest) et des institutions publiques conduisent des travaux de validation et de diffusion de son utilisation.

Une synthèse récente (Carsky *et al.*, 1998-b) met en relief les conclusions suivantes :

(i) L'établissement de *M. pruriens* demande une attention particulière, en raison du niveau des réserves du sol, particulièrement en phosphore. En effet, la carence en phosphore, plus que tout autre élément minéral, empêche les légumineuses de donner leur potentiel de

production (Skerman, 1982; Hansen, 1994). De nombreuses études montrent que l'apport de phosphore à certaines doses améliore la nodulation, la fixation biologique de l'azote (F.B.N.) et le rendement des légumineuses (Musabimana, 1998). L'application de phosphate naturel sur les légumineuses peut faire augmenter la quantité et la qualité du fourrage et par la suite peut permettre de récupérer le phosphore des animaux gardés à l'étable. Les légumineuses d'autre part sont capables de mobiliser et d'assimiler le phosphate naturel par différents mécanismes; cet élément étant abondant dans les zones tropicales, des investigations poussées doivent être menées pour comprendre ces mécanismes afin de promouvoir la contribution du phosphate naturel dans l'amélioration de la fixation biologique de l'azote, de la production de légumineuses et de l'apport de phosphore dans le cycle.

(ii) Des risques de concurrence avec le maïs, au cas où il y est associé, sont très élevés si les deux semis ont lieu ensemble, particulièrement avec des maïs de cycle court, et des déficits de production, s'il doit être semé en culture pure (ce dernier risque affecte particulièrement les producteurs ne disposant que de très petites superficies), sont observés. Le contrôle de la végétation produite par la plante de couverture (en cas de concurrence avec la culture) est aisé et peut consister en un abattement (à la machette). Une fois le mulch constitué, le producteur n'a pas besoin de brûler ou d'enfouir car le semis des cultures se fait directement à la main dans les résidus végétaux. Le volume de la végétation est très variable et il est fonction des conditions d'établissement de *M. pruriens* et de la longueur de la saison des pluies. Les repousses (ressemis spontanés) pouvant éventuellement gêner le développement de la culture suivante, le contrôle se fait alors manuellement.

(iii) Dans le cas où *M. pruriens* recouvre complètement le sol et fournit un volume conséquent de matière sèche, les agriculteurs apprécient particulièrement le contrôle des adventices (*I. cylindrica*, *C. rotundus*, *S. hermonthica*), l'accroissement des rendements du maïs l'année suivante (généralement égale ou supérieur à 1 t.ha⁻¹), le contrôle de l'érosion.

(iv) Toutefois, la faible valorisation des graines de *Mucuna pruriens* (nécessité de les détoxifier, absence de marché) constitue une contrainte à son adoption par les producteurs.

(v) Les avantages économiques sont incontestables : accroissements de rendements du maïs, faible surcroît de travail demandé par la gestion de la couverture et réduction des temps de travaux (sarclage). Il faut cependant corriger les carences chimiques du sol et installer *M. pruriens* en association avec le maïs.

(vi) Selon Vissôh *et al.* (1998), les taux d'adoption sont plus élevés dans le Sud du Bénin (70 p. cent) que dans le Nord (40 p. cent). Les conditions climatiques (favorables au Sud) et la présence du coton (au Sud) dans les systèmes de cultures expliqueraient cette différence. Dans le Sud, une étude rapportée par Caršky *et al.* (1998-a), indique que les facteurs favorables à l'adoption sont : l'envahissement des parcelles de cultures par *I. cylindrica*, la dégradation du sol, la sécurité de la tenure foncière ; l'accès à l'information et aux semences sont également des atouts pour la promotion de l'utilisation des plantes de couverture.

Les facteurs défavorables sont liés à la perte d'une saison de culture par le producteur ne disposant pas de beaucoup de terres cultivables et l'incompatibilité de la couverture avec les jachères à palmiers.

(vii) Selon Hocde (*comm. pers.*), des taux élevés d'adoption en Amérique centrale s'observent chez les petits agriculteurs des fronts pionniers : Le recours à *M. pruriens* permet d'éviter de nouveaux défrichements. Dans cette même zone géographique, Buckles (1995), insiste sur la diversité des modes d'utilisation de *M. pruriens* (fertilité du sol, lutte contre les adventices, alimentation humaine et animale).

En résumé

La saga ou révolution technique et scientifique de *M. pruriens* semble loin d'être achevée car cette légumineuse présente en effet des mérites agronomiques exceptionnels. En outre,

elle s'adapte bien aux conditions des petits agriculteurs en culture manuelle. Cependant, les conditions (agro-pédologiques, climatiques et techniques) de son insertion dans les systèmes de culture ainsi que celles de sa valorisation ne sont pas encore suffisamment connues.

Jachères et cultures dérobées

M. pruriens est loin d'être la seule espèce utilisable pour améliorer les jachères de courte durée. Plusieurs travaux récents ont permis d'évaluer le comportement dans les systèmes de cultures de plusieurs autres plantes régénératrices qu'il s'agisse de légumineuses ou de graminées (Hoefsloot *et al.*, 1993; Traore, 1996; Zoumana *et al.*, 1996; Yossi & Maiga, 1998).

L'insertion des jachères dans les systèmes de culture constitue par moment une contrainte. La possibilité de les semer en dérobé dans une culture constitue un avantage agronomique et économique très appréciable (pas d'espace utile immobilisé, peu de surcroît de travail). C'est le cas de *M. pruriens* dans le maïs.

Plusieurs auteurs (voir encadré) ont montré que *Arachis pintoï*, *Calopogonium mucunoides*, *Cassia rotundifolia*, *Centrosoma* sp., *Dolichos lablab*, *Pueraria phaseloides*, *Stylosanthes guianensis*, *S. hamata* peuvent être semés en dérobé, sous réserve de certaines conditions.

En agriculture manuelle, la culture principale doit être semée à interlignes d'environ un mètre de large. Dans le cas du maïs et du coton, la plante de couverture sera semée trois à quatre semaines après pour ne pas créer de concurrence excessive. Le profil cultural ne doit pas présenter de limitations physiques (couches compactées) ni de carences chimiques (en phosphore en particulier). Sur les sols les plus pauvres, l'apport de fumure sur la culture principale est nécessaire (qui peut éventuellement se limiter à une simple pellétisation; Charpentier, 1996-a).

Les plantes de couverture réagissent différemment à l'ombrage créé par la culture principale (Charpentier, 1995; Bilgo, 2000). Les légumineuses ne fixent pas toutes intensément l'azote en début de cycle⁽²⁾ et leur développement après la récolte de la culture principale peut être moins rapide : *Calopogonium mucunoides*, *Cassia rotundifolia* et *Stylosanthes hamata* s'adaptent bien par exemple aux conditions de l'installation en dérobé, qui est plus délicate pour *Pueraria phaseloides* (Charpentier, 1995).

À titre d'exemples d'installation de plantes de couvertures en dérobé on notera :

- au Sud du Bénin, Galiba *et al.* (1998) sur sols ferrallitiques faiblement désaturés pour *Mucuna*;
- en Côte-d'Ivoire, Charpentier (1995 et 1996), pour Khorogo et Bouaké, et Bouchez (1998) pour l'installation de *Pueraria phaseloides* dans le maïs (sols ferrallitiques plus ou moins gravillonnaires de la région d'Oumé, à proximité de Gagnoa);
- au Nord du Cameroun, Klein (1998) a étudié les conditions d'établissement de plusieurs légumineuses de couverture dans des systèmes de cultures à bases de maïs et coton;
- à Madagascar, Seguy (1998) : *Arachis pintoï*, *Brachiaria ruziziensis* et *Macroptilium atropurpureum* dans le maïs, sur des sables roux, dans le Sud-Ouest; *Arachis pintoï*, *Calopogonium mucunoides*, *Cassia rotundifolia*, *Dolichos lablab*, *Pueraria phaseloides*, *Stylosanthes* sp., *Vigna sinensis* dans le maïs, sur sols ferrallitiques, au lac Alaotra;
- au Brésil, Seguy (1994), Seguy *et al.* (1994, 1996), Seguy (1997) : *Calopogonium mucunoides*, *Crotalaria spectabilis*, *C. refusa*, *Brachiaria decumbens*, *B. ruziziensis*, dans le riz⁽³⁾ et le maïs, en culture motorisée, dans les sols ferrallitiques des *Cerrados*.

(2) C'est le cas en particulier de *Pueraria phaseloides*, dont la fixation n'est intense qu'après le quatrième mois.

(3) Le semis de *Brachiaria* sp. dans le riz y est pratiqué sur des superficies très importantes pour la régénération des pâturages dégradés.

Soles et cultures fourragères

Dans le domaine des cultures fourragères, des travaux récents ont permis d'ouvrir des perspectives novatrices. Achard *et al.* (2000) en fait une synthèse dans ce volume.

Tarawali *et al.* (1998) rendent compte d'études conduites dans les zones sub-humides du Cameroun, de la Côte-d'Ivoire, du Mali et du Nigeria sur *Stylosanthes* sp. Au Nigeria, *S. hamata*, *S. capitata* (choisis pour leur résistance à l'anthracnose) et *Centrosoma* sp. ont été semés en dérobé dans le sorgho (avec trois à six semaines de décalage).

Les parcelles ont été ensuite maintenues en jachère améliorante pendant trois années. Les légumineuses servaient à l'alimentation des chèvres en complément de la pâture naturelle. La production de matière sèche des mélanges fourragers a été de l'ordre de six tonnes par hectare, et la croissance en poids des animaux a été nettement améliorée particulièrement en saison sèche. Selon Hoefsloot *et al.* (1993), la sole fourragère permet d'améliorer l'alimentation du bétail et peut contribuer au maintien de la fertilité du sol ; avec un rendement de quatre tonnes par hectare de matière sèche, un hectare de *S. hamata* pourrait fournir un complément en saison sèche pour environ cinq bovins. L'accès quelques heures par jour à une sole fourragère de *S. hamata* pourrait permettre d'augmenter le poids des jeunes animaux de l'ordre de vingt-cinq à trente kilogrammes par tête et par an. Tarawali *et al.* (1998) constatent par ailleurs que les effets résiduels sur le maïs se sont avérés importants : 1,7 tonne par hectare sans engrais ($0,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le témoin sans précédant fourrager) ; 2,7 tonnes par hectare avec quarante-cinq kilogrammes d'azote ($1,8$ pour le témoin).

Olina & Dugue (2000) ont étudié, au Nord du Cameroun, l'utilisation des légumineuses par des agriculteurs pour l'amélioration des jachères de courte durée et la production du fourrage. Leurs travaux portaient sur *M. pruriens*, *S. hamata*, *Crotalaria ochroleuca* et *Cajanus cajan*, dont ils comparaient le comportement selon différentes modalités de semis (pure ou en dérobé) et au cours de deux ou trois ans avant la mise en culture. Ils en concluent à la supériorité des légumineuses à grosses graines pour l'établissement en culture pure, à celle du semis dans la céréale (gain de temps) et à la possibilité de disposer de sept à dix tonnes de biomasse sèche avec *M. pruriens* et *C. ochroleuca*. Toutefois, les agriculteurs ont manifesté une certaine réticence vis-à-vis de la durée de cette jachère (trois ans) et des risques de sa dégradation par les feux et la vaine pâture de saison sèche (Klein, 1999).

Bodji & Kore (1998), étudiant dans la région de Touba en Côte-d'Ivoire, le comportement de quelques plantes fourragères (2 graminées et 8 légumineuses herbacées), installées en cultures pures, concluent au bon comportement de *Panicum maximum* et de *Andropogon gayanus* ainsi qu'à celui de *Centrosema brasilianum*, *Cassia rotundifolia* et *Aeschynomene histrix*, dont la productivité est élevée en saison des pluies et qui résistent bien à la saison sèche.

Parallèlement, au Burkina Faso, en zone sub-humide, Toe & Kanwe (1998) ont étudié le comportement de neuf graminées et de treize légumineuses du point de vue de leur potentiel fourrager, et Segda *et al.* (1998-a), l'amélioration de la fertilité du sol par les légumineuses de couverture ; ils concluent que *M. pruriens*, surtout var. *cochincinensis*, produit des quantités très importantes de biomasse, couvrant presque complètement le sol, fixe d'importantes quantités d'azote et provoque un accroissement substantiel du rendement du maïs et du sorgho qui lui succèdent.

Travaillant sur l'intégration de la dolique fourragère dans les systèmes des agroéleveurs du Sud du Mali, Bengaly & Bagayoko (1998) ont montré que, semée dans le maïs au moment où celui-ci est au stade quatre-six feuilles, elle ne pénalise que modérément son rendement tout en fournissant une quantité appréciable de fourrage, de l'ordre de deux à trois tonnes de matière sèche par hectare à $1,8$ pour cent d'azote.

Enfin, l'amélioration des propriétés du sol (M.O., C.E.C., porosité, présence de micro-organismes) est très marquée. Sans doute à cause de cette amélioration, à proximité de Khoror-

go, en Côte-d'Ivoire, Charpentier (1995) a obtenu des productions de matière sèche de 5,3 tonnes par hectare (en trois coupes) en première année avec *S. guianensis*, semé en dérobé dans une céréale (maïs, sorgho, mil).

Charpentier (1995) a également étudié la capacité de *Pueraria phaseloides*, installé aussi en dérobé, à régénérer la fertilité du sol tout en servant de ressource fourragère. De ses conclusions, il apparaît :

- que la persistance de cette plante sur une parcelle dépend de l'état de dégradation du sol, de la situation foncière de l'agriculture et de l'objectif recherché ;
- qu'une gestion de la terre alternant phases de culture et phases de repos couvertes par des plantes restauratrices peut être aujourd'hui conseillée dans tous les cas, quel que soit l'état de dégradation du sol.

Charpentier (1995) propose ainsi pour les sols peu dégradés des cycles de quatre ans de cultures et quatre ans de repos et, pour les sols dégradés, de trois ans de cultures et quatre ans de repos (dans les deux cas : 1 ou 2 ans seulement de repos si la pression foncière est forte). Concernant les effets de ces couvertures de *Pueraria phaseloides* sur les cultures suivantes (établies en semis direct sans labour et avec maintien du mulch en surface), Charpentier (1995) note :

- les rendements suivants : maïs : 2,2 tonnes par hectare sans engrais (4,1 avec engrais) ; soja : 1,8 (2,9) ; coton : 1,5 (2,2) ; igname 17,5 ;
- le contrôle des adventices (à l'exception de *Euphorbia heteophylla* et *Rothbelia exaltata*) ;
- la réduction des temps de travaux (l'igname, par exemple, peut être cultivé sans constitution de buttes) ;
- les risques de concurrence entre la couverture de *Pueraria phaseloides* et les cultures sont contrôlés manuellement et par des herbicides.

Chikoye *et al.* (2000) ont également étudié les effets de jachères de *Pueraria phaseloides* sur le maïs (en association avec le manioc) qui lui succède. Concernant la dynamique des adventices, ils observent que la quantité de matière sèche des adventices des cultures après la jachère à *P. Phaseloides* est sensiblement inférieure à celle observée dans le cas de culture continue, dont l'infestation est par ailleurs croissante avec les années.

Dans une synthèse de travaux récents consacrés aux contributions des cultures fourragères au maintien de la fertilité des sols, Klein (1999) conclue que les espèces fourragères introduites pour régénérer des pâturages naturels dégradés permettent d'améliorer sensiblement la production de biomasse végétale, de lutter contre l'érosion, mais aussi d'augmenter le statut organique des sols.

Au Brésil, *Brachiaria* sp. est la culture fourragère de loin la plus fréquente (elle couvre des centaines de milliers d'hectares). Jusqu'à un passé récent, il ne s'agissait que d'élevages spécialisés (Billaz & Palma, 1997). Seguy *et al.* (1996) a mis en évidence l'intérêt d'inclure *Brachiaria* sp. dans les successions culturales, non seulement pour diversifier les productions, mais également pour ses mérites agronomiques (effet nettoyant vis-à-vis des adventices, amélioration du profil cultural : matière organique, agrégats, porosité, activité biologique). Des résultats spectaculaires en matière de production fourragère et de performances zootechniques ont ainsi été obtenus. La reprise se fait aussi par semis direct dans le mulch du pâturage, préalablement desséché avec un herbicide de contact.

Les résultats ainsi obtenus ouvrent la voie à une révolution fourragère comparable à celle des agricultures tempérées et favorisent l'intégration agriculture-élevage comme substitution aux jachères de longue durée.

Rappelons toutefois que l'établissement de ces soles de légumineuses demande des conditions minimales : les altérations physiques du profil cultural et les carences chimiques les

plus graves doivent être corrigées au préalable (Hoesflot *et al.*, 1993 ; Charpentier, 1996-b ; Seguy *et al.*, 1996)

Cultures permanentes à jachère améliorée

En Côte-d'Ivoire, Kouassi (2000) a étudié l'incidence de jachères améliorées de un an de *Calopogonium mucunoides*, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea* et *M. pruriens* sur la canne à sucre. Il a observé que le mucuna et la crotalaire ont entraîné une nette amélioration des rendements de la canne par rapport à la jachère naturelle (respectivement plus 0,7 et plus 2 t.ha⁻¹ de sucre extractible) et une forte diminution des populations d'adventices (92 et 74 p. cent).

Des travaux conduits au Nord du Bénin (Djenontin & Amidou, 2000) ont permis de valider, chez des agriculteurs, deux systèmes de culture continue, fondés sur des successions culturales incluant des jachères améliorantes de courte durée : tous deux incluaient des successions maïs-arachide-sorgho-niébé (ou soja) et une sole de mucuna, cette dernière en précédent soit du coton (dans un cas) soit d'une tubercule (manioc ou igname) dans l'autre. L'objectif étant de disposer de ressources fourragères complémentaires (intégration agriculture-élevage), une grande partie des pailles est exportée, les résidus étant incorporés au sol, par labour, avant la culture suivante. Les auteurs ont noté un accroissement significatif des rendements des cultures par rapport aux pratiques conventionnelles, une plus grande disponibilité de biomasse fourragère, ainsi qu'une baisse notable des infestations de *Striga*.

Ces travaux manifestent la supériorité de systèmes raisonnés de culture en fonction de la place de cultures améliorantes dans les successions avec une plante améliorante comme mucuna.

Dans la même optique, mais en partant des acquis spectaculaires du semis direct (sans labour) dans les couvertures en conditions subtropicales (dans le Sud du Brésil) au cours des années soixante-dix, des auteurs (Derpsch *et al.*, 1991 ; Mertens, 1993 ; Seguy, 1994 ; Seguy *et al.*, 1994 ; Sá, 1995 ; Seguy *et al.*, 1996 ; Billaz & Palma, 1997 ; Seguy *et al.*, 1997, 1998) ont mis au point, en conditions tropicales, des systèmes de culture en semis direct. Du Brésil, où ils ont vu le jour, ces travaux ont été étendus à la Côte-d'Ivoire (Charpentier, 1996-a et -b), au Gabon, à La Réunion et à Madagascar.

Sous réserve de l'amélioration du profil cultural, il est en effet possible de gérer :

(i) des rotations de cultures (y compris fourragères) de façon continue, sans recours à des périodes de jachères improductives ;

(ii) des couvertures permanentes du sol, constituées des résidus des récoltes précédentes, de cultures *ad hoc* (Monegat, 1991), dont la gamme des légumineuses évoquée ci-dessus, mais aussi des céréales à croissance et enracinement rapide (mils et sorghos) et de graminées fourragères ;

(iii) une très large gamme de systèmes de culture adaptables à des conditions agro-écologiques très variées et aux moyens et objectifs des producteurs : les exemples cités concernant la Côte-d'Ivoire et de Madagascar correspondent à la culture manuelle, mais des équipements – mis au point et fabriqués au Brésil – sont actuellement disponibles pour le semis direct en cultures attelée ou motorisée. Dans ce dernier pays, le semis direct dans des couvertures – en culture motorisée – couvre, en zone tropicale, près de quatre millions d'hectares (et autant en zone sub-tropicale).

Il convient d'insister sur l'originalité de l'approche agronomique (qualifiée par son auteur d'« agro-biologique ») qui a conduit à ces résultats (Seguy, 1994 ; Seguy *et al.*, 1994 ; 1996 ; 1997) en soulignant :

(i) qu'une fois corrigées les éventuelles limitations du profil cultural, il n'est plus nécessaire de travailler le sol. En conditions tropicales, l'option « zéro-labour » pour la reprise

après deux ans de plantes de couvertures (quatre graminées et quatre légumineuses) avait été étudiée à Ibadan, dans les années soixante-dix (Lal *et al.*, 1978⁽⁴⁾). Préalablement au semis des cultures suivantes (maïs, niébé, manioc), les plantes étaient tuées avec un herbicide de contact (Paraquat). Ces travaux avaient mis en évidence les effets bénéfiques de la majorité de ces couvertures sur le rendement des cultures et sur les propriétés physiques et chimiques du sol, ainsi que sur son activité biologique ;

(ii) que l'on peut obtenir des effets comparables de couvertures en quelques mois – au lieu de deux ans ou plus – en leur faisant systématiquement une place dans les systèmes de culture, pendant la saison sèche : les résidus des récoltes précédentes (non enfouis ni brûlés) peuvent y contribuer significativement, particulièrement s'il s'agit de pailles de céréales à rapport carbone-azote élevé. En conditions tropicales, un volume minimal est toutefois nécessaire pour que la couverture du sol soit complète et les conditions réunies pour des activités biologiques significatives : on y parvient en semant, en fin ou en début de saison des pluies, des plantes à développement rapide ; le sorgho et le mil s'y prêtent particulièrement bien : leur croissance très rapide⁽⁵⁾ fournit un mulch important – de l'ordre de cinq tonnes par hectare – qui contribue à la création d'une structure du sol favorable et recycle des quantités très appréciables de nutriments (Seguy, 1997) ;

(iii) la présence de cette biomasse importante provoque une activité intense des micro-organismes et de la mésofaune ; l'ensemble constitué par les racines des différentes cultures, cette litière et les organismes du sol qui en vivent est tout à fait comparable à celui que l'on observe sous les forêts du tropique humide. Il joue un double rôle de protection permanente du sol et de « pompe biologique » pour le recyclage des nutriments ;

(iv) au-delà du seul recyclage des nutriments, il a été montré que cette activité biologique du sol, à proximité des litières, contribue très significativement à l'augmentation des teneurs du sol en azote soluble ainsi qu'en phosphore et en oligo-éléments assimilables (Sá, 1993). Il en résulte des économies très substantielles de fertilisation minérale.

Conclusions

Les acquis récents de la recherche-développement offrent un très large éventail de solutions pour l'amélioration des jachères de courte durée.

Les plus prometteuses utilisent des plantes de couverture (dont la gamme dépasse le seul cadre des légumineuses et inclut des graminées fourragères, voire des céréales) semées en dérobé des cultures précédentes ou pendant le cycle cultural, et qui se maintiennent durant la période entre deux cultures ; si leur développement est satisfaisant, elles manifestent de très intéressantes propriétés :

- nettoyantes (vis-à-vis d'adventices aussi redoutables que *Imperata cylindrica*, *Cyperus rotundus* et *Striga hermontica*) ;
- protectrices de la surface du sol (suppression des encroûtements, contrôle du ruissellement et de l'érosion) ;
- d'apport d'azote – dans le cas des légumineuses – et de recyclage des nutriments ;
- d'amélioration des caractéristiques du sol (teneur en matière organique), de ses propriétés physiques (porosité, formation d'agrégats) et chimiques (pH, C.E.C.) ;
- d'activation de la vie biologique du sol (microflore et mésofaune).

(4) Cette voie avait été ouverte par des travaux antérieurs conduits dans les années soixante au Zaïre et au Ghana.

(5) Leurs fronts racinaires descendent, dans de bonnes conditions, de un à deux centimètres par jour (Seguy, 1997).

La place de ces plantes de couverture dans les systèmes de culture est maintenant beaucoup mieux cernée : l'utilisation d'herbicides (dont la gamme s'est considérablement élargie ces vingt dernières années) et la disponibilité d'équipements *ad hoc* (inventés et fabriqués au Brésil) permet la reprise sous forme de semis direct dans les mulchs ainsi constitués.

La durée de ces jachères améliorées peut être réduite à la seule saison sèche. Il a été montré au Bénin comme au Brésil et à Madagascar que, sous réserve de créer et gérer des biomasses de couvertures importantes, les améliorations qu'elles apportent permettent des progrès soutenus de rendement des cultures et (ou) des économies appréciables de fertilisants.

On notera toutefois que des conditions minimales, résumées sous le nom de fertilité du profil cultural, doivent être satisfaites pour l'obtention de biomasses importantes. Elles demandent à être définies précisément dans chaque situation. On notera en outre que dans les milieux semi-arides (pluviométrie inférieure à 500 mm) et de sols très argileux, l'établissement et la gestion de couvertures permanentes ne sont pas encore maîtrisés.

Il faut également souligner que la vaine pâture et les feux constituent des handicaps au maintien des couvertures en saison sèche. En l'absence de mesures efficaces de sécurisation et de mise en défens, il ne peut y avoir d'amélioration des jachères. Des progrès importants sont toutefois rapportés dans la création de haies vives et dans le contrôle collectif de la vaine pâture (hauts plateaux malgaches ; Seguy, 1998).

Si on considère les enjeux de moyen terme, la substitution des pratiques actuelles par des jachères améliorantes de très courte durée est un thème crucial du développement rural. Il reste donc beaucoup à faire, non seulement pour créer, valider et diffuser des solutions adaptées aux différents systèmes de cultures et d'élevage, mais aussi pour mieux comprendre et maîtriser les relations sol-plante sous couvertures permanentes. Une «révolution agronomique» est certes en route. Elle a montré sa capacité à apporter des solutions efficaces et originales. Il faut l'accompagner et lui donner les moyens de progresser au rythme de ces besoins.

Références

- Abbadie L., Mariotti A. & Menaut J.C. (1992). « Independence of Savanna grasses from soil organic matter for their Nitrogen supply », *Ecology*, vol. LXXIII, n° 2 : pp. 608-613.
- Achard F., Hiernaux P. & Banoïn M. (2000). « La jachère fourragère naturelle et améliorée dans les zones sahéliennes et soudano-guinéennes d'Afrique de l'Ouest », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. II, pp. 000-000.
- Agboola A.A. & Fayemi A.A.A. (1971). « Preliminary trials on the intercropping of maize with different tropical legumes in western Nigeria », *Journal of Agricultural Science (Camb.)*, n° 77 : pp. 219-225.
- Aklamavo M. & Mensah G.A. (1997). « Quelques aspects de l'utilisation du *Mucuna* en milieu rural en République du Bénin », *Bulletin de la Recherche Agronomique*, Inrab, n° 19 : pp. 34-45.
- Azontonde A.H., Feller C., Ganry F. & Remy J.C. (1998). « Le *Mucuna* et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au Sud du Bénin », *Agriculture et Développement*, n° 18 : pp. 55-61.
- Balbarino E., Bates D.M., de la Rosa Z. & Itumay J. (1997). « Farmer-improved short term fallows using a spiny legume benet (*Mimosa invisa* Mart.) In western Leyte, Phillipines »*, in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 13.
- Becker M. & Johnson D.E. (1998-b). « Legume as dry season fallow in upland rice-based systems of West Africa », *Biol. Fertil. Soils*, n° 27 : pp. 358-367.
- Becker M., Johnson D.E. & Segda Z.J. (1998-a). « The role of legume fallows in intensified upland rice-based systems of West Africa », in Buckles *et al.* (éd., 1998) : pp. 85-106.
- Bengali Y.M. & Bagayoko S. (1998). « Intégration de la culture fourragère de Dolique dans les systèmes agropastoraux du Mali-Sud », in Cirad (éd.) : pp. 75-83.

- Bengaly (1998). « Expérience de l'ESP-GRN-Sikasso sur la dolique comme plante fourragère et plante de couverture au Mali-Sud », Poster, in Buckles *et al.* (éd., 1998) : pp. 85-106.
- Bilgo A. (1999). *Les différents modes de gestion des jachères courtes et leurs impacts sur le sol*, mémoire de D.E.A. en sciences biologiques appliquées, univers. de Ouagadougou, 77 p.
- Billaz R. & Palma V. (1997). « L'expansion de l'agriculture et de l'élevage dans les savanes tropicales d'Amérique du Sud : les limites de la révolution verte et l'émergence d'alternatives agro-écologiquement durables », in Griffon (éd., 1997) : pp. 137-160.
- Billaz R., de Guimaraes F.M. & Conti C. (2000). La gestion durable des savanes péri-amazonniennes, cédérom, Montpellier (France), Cirad, à paraître.
- Bodji N.C. & Kore R. (1998). « Étude du comportement de quelques plantes fourragères tropicales (herbacées et ligneuses) dans la région de Touba », in Cirad-Emvt (éd.) : pp. 31-40.
- Bouchez C. (1998). *Mise en place de tests agronomiques sur le maïs en zone forestière de Côte-d'Ivoire*, mémoire de stage, Montpellier (France), Cirad CA, 46 p. + annexes.
- Buckles D. (1995). « Velvetbean : a « new » plant with a history », *Economic botany*, vol. IL, n° 1 : pp. 13-25.
- Buckles D. & Triomphe B. (1997). « Velvetbean in Atlantic Honduras : exploring the limits of hillside agriculture »*, in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 22.
- Buckles D., Triomphe B. & Sain G. (1998). *Cover Crops in Hillside Agriculture : Farmer Innovation with Mucuna*, Ottawa (Canada)-Mexico, I.D.R.C.-Imwic, 219 p.
- Buckles D., Eteka A., Osiname O., Galiba M. & Galiano G. (éd.) (1998). *Cover Crops in West Africa : Contributing to sustainable agriculture*, International Development Research Center, National Library of Canada, 291 p.
- Bunch R. & Buckler D. (1998). « Épilogue : Achieving sustainability in the use of cover crops », in Buckles *et al.* (éd., 1998) : pp. 269-274.
- Carsky J.R. & Ndikawa R. (1998-a). « Identification of cover crops for the semi-arid savanna of West Africa », in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 179-189.
- Carsky J.R., Tarawall S.A., Becker M., Chikoye D. & Sanginga N. (1998-b). *Mucuna, herbaceous cover legume with potential for multiple use*, Ibadan (Nigeria), I.I.T.A., 53 p.
- César J. & Coulibaly C. (1993). « Conséquences de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le Nord de la Côte-d'Ivoire », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 415-434.
- Charpentier H. (1995). *Fixation de l'agriculture dans le Nord de la Côte-d'Ivoire ; Synthèse de 6 années d'expérimentation (1989-1994) sur le terroir villageois de Tcholelevo*, Montpellier (France), Cirad-CA, 200 p.
- Charpentier H. (1996-a). *Fixation de l'agriculture en zone Centre de la Côte-d'Ivoire dans la série agricole de la forêt classée de Kouabo-Boka*, rapport des campagnes 1995 et 1996, Montpellier (France), Cirad CA, 23 p. + annexes.
- Charpentier H. (1996-b). *Fixation de l'agriculture en zone Nord de la Côte-d'Ivoire sur le terroir villageois de Tchovologo*, rapport des campagnes 1995 et 1996, Montpellier (France), Cirad CA, 19 p. + annexes.
- Charreau C. & 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 », Paris, Irat, *Bulletin Agronomique*, n°23, 254 p.
- Chikoye D., Akobundu I.O. & Ekeleme F. (2000). « Long term effects of *Pueraria phaseloides* (Roxb.) and *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit fallow on weed growth and composition in Cassava intercropped with Maize », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 603-610.
- Cirad-emvt (1998). *Cultures fourragères et développement durable en zone subhumide*, actes de l'atelier régional, Korhogo (Côte-d'Ivoire), 26-29 mai 1997, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)-Bouaké (Côte-d'Ivoire)-Montpellier (France), Cirdes-Idessa-Cirad, 204 p.
- Coe R., Cooper P., Dzowela B. & Otsyina R. (1997). « Biophysical limits to performance of improved fallows with *Sesbania sesban* and *Tephrosia vogelii* in Southern Africa »*, in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 43.
- Dembele E. (1998). « Expérience de la Compagnie malienne de développement des textiles dans la réalisation des soles fourragères pluriannuelles », Poster présentation, in Buckles *et al.* (éd., 1998) : p. 259.
- Derpsch R. (1993). « Importancia da rotação de culturas e da adubação verde nos sistemas de produção Trigo/Soja no Sul do Brasil », in Sade *et al.* (éd., 1993) : pp. 58-75.

- Derpsch R. (1999). « Historical review of no-tillage cultivation of crops », *Proceedings of the Jircas seminar on Soybean Research*, mars 1999, Embrapa (Brésil).
- Derpsch C.H., Roth C.H., Sidiras N. & Köpke U. (1991). *Controle da erosão no Paraná : sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*, Eschborn (Allemagne), Iapar, G.T.Z., 268 p.
- Djenonin A.J. & Amidou M. (2000). « Introduction de la jachère cultivée dans les systèmes de cultures du Bénin septentrional », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 577-586.
- Dogbe W. (1998). « Green-manure crops for sustainable agriculture in the inland valleys of Northern Ghana »*, in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 213-215.
- Donfack P. (1997). « Improvement of short-term fallows by protection against fire »*, in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 56.
- Dovonou H., Gokou G. & Adoukpe R. (1998). « Dynamique de la culture du *Mucuna pruriens* dans la commune rurale de Gakpé, au Bénin »*, in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 235-237.
- Dugué P. & Guyotte K. (1996). « Semis direct et désherbage chimique en zone cotonnière du Cameroun », *Agriculture et Développement*, n° 11, sept. 1996, p. 15, Montpellier (France), Cirad : pp. 43-57.
- Dugué P., Koulandi J. & Moussa C. (1997). « Diversité des situations agricoles et problématiques de développement de la zone cotonnière », in Seyni-Boucar *et al.* : pp. 43-57.
- Faulkner O.T. (1934). « Some experiments with leguminous crops at Ibadan, Southern Nigeria, 1925-1933 », *Empire J. Exp. Agric.*, n° 2 : pp. 93-102.
- Fischler M. & Wortmann C. (1997). « Green manure research in eastern Uganda, a participatory research approach »*, in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 25.
- Floquet A. *et al.* (1995). *Identification des problèmes liés au maintien de la fertilité des sols chez les paysans du bas-Bénin*, Allemagne-Bénin, Université de Hohenheim-Inrabb, rapport n° 3.
- Floret Ch. & Serpantié G. (éd.) (1993). *La jachère en Afrique de l'Ouest*, Paris, Orstom (coll. *Colloques et Séminaires*), 494 p.
- Floret Ch., Pontanier R. & Serpantié G. (1993). *La jachère en Afrique tropicale*, dossier Mab, Paris, Unesco, 86 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. éd. (1996). *La jachère, lieu de production*, Bobo-Dioulasso, 2-4 oct. 1996, Coraf-U.E.-C.N.R.S.T.-Orstom, 144 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances*, Paris, John Libbey, 804 p. & 356 p.
- Freitas P.L. *et al.* (1998). « Caractérisation structurale des sols des Cerrados brésiliens sous différents modes d'utilisation agricole », *Étude et gestion des sols*, Paris, Orstom, vol. V, n° 2 : pp. 93-105.
- Galiba M., Vissoh P., Dagbenonbakin G. & Fagbohoun F. (1998). « Réactions et craintes des paysans liées à l'utilisation du pois mascate (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) », in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 55-65.
- Godet G., Grimaud P. & Guerin H. (1999). *Cultures fourragères*, Montpellier (France), Cirad-E.M.V.T., Montpellier, à paraître.
- Griffon M. éd. (1997). *Succès et limites des révolutions vertes*, Montpellier (France), Cirad, 97 p.
- Guyotte K., Martin J. & Ekorong J. (1997). « Fertilité des sols et réponse du cotonnier à la fertilisation », in Seyni-Boucar *et al.* (éd., 1997) : pp. 409-428.
- Hairiah K., Van Noordwick M. & de Foresta H. (1998). « Carbon and nutrient balance of a 2 years fallow of *Chromolaena odorata*, compared to grass, legumes and tree fallows on acid ultisol in Lampung (Indonesia) »*, in Iufro *et al.* (éd., 1998) : p. 52.
- Hansen P.A. (1994). *Symbiotic N₂ fixation of crop legumes. Achievement and Perspectives*, Weikersheim, Margraf (Germany), Center for Agriculture in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, 248 p. (*Hohenheim tropical agricultural*, series 2).
- Harmand J.M. (1998). *Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéographique de la jachère : effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux*, th., Montpellier (France), Cirad, 213 p + annexes.
- Hayes J.M., Minae S., Bunderson W.T., Bodnar F. & Ngugi D. (1997). « The potential of improved fallows on smallholder productivity and food security in Malawi »*, in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 64.
- Hien V., Sedogo M.P. & Lompo F. (1993). « Étude des effets des jachères de courte durée sur la production et l'évolution des sols dans différents systèmes de culture du Burkina Faso », in Floret & Serpantié (éd., 1993) : pp. 121-132.

- Hoefsloot H., Van der Pol F. & Roelvelde L. (1993). *Jachères améliorées. Options pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'Ouest*, Amsterdam (The Netherlands), Kit Press, Bulletin 333, 87 p.
- Iufro *et al.*, éd. (1997). *International Symposium on the Science and Practice of Short-term Improved Fallow*; Milongwe (Malawi), Plenary and poster abstracts, Iufro, I.S.S.S.-A.I.S.S.-I.B.G., Nairobi, Kenya, 77 p.
- Kang B.T., Reynolds L. & Atta-Krah A.N. (1990). « Alley Farming », *Advances in Agronomy*, vol. XLIII : pp. 315-359.
- Kimou A. & Zengbe M. (1994). « Facteurs limitant la fixation de N₂ chez deux espèces de légumineuses à graines (*Glycine max*) et (*Vigna unguiculata*) en zone tropicale humide de la Côte-d'Ivoire », in Sadiki & Hilali (éd., 1994) : pp. 381-386.
- Klein H.D. (1998). « Critères de choix et classement des légumineuses introduites dans les systèmes agro-pastoraux inter-tropicaux pour le développement d'une agriculture durable », in Rasolo (F.) & M. Raunet (éd. 1998), 15 p. + annexes, à paraître.
- Klein H.D. (1999). « Cultures fourragères et maintien de la fertilité : introduction et problématique ; rôle direct des plantes fourragères dans le sol », in Godet *et al.*, à paraître.
- Kouassy N.A. (2000). « Utilisation des plantes de couvertures pour l'amélioration des jachères pour la culture de la canne à sucre en Côte d'Ivoire », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 611-615.
- Koudokpon V. *et al.* (1994). « Priority setting in research for sustainable land use : the case of the Adja Plateau, Benin », *Agroforestry Systems*, n° 26 : pp. 101-122.
- Koundokpon V. *et al.* (1998). « Déterminants de l'adoption du *Mucuna* dans le département du Mono au Bénin », in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 45-53.
- Kouyate Z. & Juo A.S.R. (1998). « Effets des engrais verts et des rotations de cultures sur la production des sols au Mali », in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 171-177.
- Kumwenda J.D.T., Snapp S.S., Ganunga R.P. & Saka A.R. (1997). « Effects of organic legume residues and inorganic fertilizers on maize yield in Malawi », in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 51.
- Lal R. *et al.* (1978). « No-till farming after various grasses and leguminous cover crops in tropical alfisols. I : Crop performances », *Field Crops Research*, n° 1 : pp. 71-84.
- Lal R. (1988). « Effect of microfauna on soil properties in tropical ecosystems », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n° 24 : pp. 101-116.
- Lal R. (1989). « Conservation tillage for sustainable agriculture : tropics versus temperate environments », *Advances in Agronomy*, vol. IL : pp. 86-197.
- Le Trong Cuc & Tran Duc Vien (1997). « The role of legume species (*Tephrosia candida*) in improving soil fertility for sustainable agricultural development : an experience from uplands of northern Vietnam », in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 36.
- Lorenzetti F., Macisaac S., Arnason J.T., Awang D.V.C. & Buckles D. (1998). « The phytochemistry, toxicology and food potential of Velvetbean (*Mucuna Adans* spp., Fabaceae) », in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 67-84.
- Malley Z.J.U. (1997). « Improved fallows using *Chrotalaria* sp. : potentials, limitations and opportunities in southern highlands of Tanzania », in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 30.
- Mertens G.H. (1993). « Desafio do plantio direto em solos de baixa aptidão agrícola », in Sade *et al.* (éd., 1993) : pp. 32-57.
- Monegat C. (1991). *Plantas de cobertura do solo*, Chapeco (SC) Brésil.
- Musabimana A. (1998). *Étude de l'effet du phosphore sur la croissance et la fixation biologique de l'azote chez Mucuna cochinchinensis sur sols ferrugineux tropicaux lessivés en zone soudanienne du Burkina Faso*, mémoire de fin d'études, I.D.R., Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 81 p.
- Muza L. (1998). « Selecting green-manure legumes for relay and intercropping systems with maize on sandy soils in Zimbabwe », in Bukles *et al.* (éd., 1998) : pp. 251-257.
- Nye P.H. & Greenland D.J. (1960). « The soil under shifting cultivation », *Tech. Comm.*, n° 51, Commonwealth Bureau of Soils, Farnham Royal, Bucks (Royaume-Uni), 156 p.
- Olina J.-P. & Dugue P. (2000). « Utilisation des légumineuses pour l'amélioration des jachères de courte durée et la production du fourrage », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 561-568.
- Osei-Bonsu P., Buckles D., Soza F.R. & Asibuo J.Y. (1995). « Edible covers crops », *Keep Rolling*, news letter.

- Osei-Bonsu P. (1996). « On farm trials of *Mucuna* spp. » in Bukles *et al.* (éd., 1996) : pp. 201-202.
- Osei-Bonsu P. (1996). « Summary of on-farm trials on *Mucuna* in Ghana. Ghana grains Development project », Crops Reaserch Institute, *Les plantes de couverture dans l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest : Contraintes et Opportunités*, Atelier régional, 1^{er}-3 oct. 1996, Cotonou (Bénin), à paraître.
- Osei-Bonsu P. & Buckles D. (1996). « Des plantes de couverture qui se mangent », *Journal Spore*, n° 66.
- Pavan M.A., Bingham F.T. & Pratt P.F. (1985). « Chemical and mineralogical characteristics of selcted acid soils in the state of Paraná, Brazil », *Turrialba*, n° 35 : pp. 131-139.
- Peltier R. & Eyog Matig O. (1988). « Les essais d'agroforesterie au Nord Cameroun », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 217 : pp. 3-31.
- Pieri C. (1989). *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*, Paris, ministère de la Coopération-Cirad-Irat, La Documentation française, 444 p.
- Rasolo F. & Raunet M. éd. (1998). *Le semis direct et l'agriculture durable*, Actes de l'atelier, Antsirabé (Madagascar), mars 1998, Fofifa-Cirad-CA, Montpellier, 658 p., à paraître.
- Raunet M. (1971). « Contribution à l'étude pédo-agronomique des « terres de barre » du Dahomey et du Togo », *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXVIII, n° 11 : pp. 1049-1069.
- Recherche sur les Systèmes de Production (1991). *Recherche sur les systèmes de production en zone ouest*, rapport d'activité, Burkina Faso, Inera.
- Reiss (D.), J. Onana, H. D. Klein & M. Djoumessi, 1997. « Introduction des légumineuses fourragères dans les assolements : gestion des pâturages naturels », in Seyni-Boucar *et al.* (éd., 1997) : pp. 195-209.
- Rollin D. (1997). « Quelles améliorations pour les systèmes de culture de l'Ouest Malgache ? », *Agriculture et Développement*, n° 17 : pp. 57-72.
- Roose É. (1993). « Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique Occidentale », in Floret & Serpenté (éd., 1993).
- Rutenbergh H. (1980). *Farming systems in the Tropics*, 3^e éd., Oxford (Royaume-Uni), Oxford Science Publication, 356 p.
- Sá J.C. de Moraes (1993). « Manejo da fertilidade do solo no plantio direto », in SA J. C. M. (éd., 1993) : pp. 76-104.
- Sá J.C. de Moraes (1995). « Plantio direto : transformações e beneficios ao agrosistema », *Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto*, Anais, Fundação ABC, Castro (PR) Brésil : pp. 9-29.
- SA J.C.M. (éd.) (1993). *Símpoio internacional sobre plantio direto em sistemas sustentáveis*, Anais, Castro PR (Brésil), Fundação ABC, 93 p.
- Sadiki & Hilali A. (éd.) (1994). *Recent Development in Biological Nitrogen Fixation Research in Africa*, IAV, Hassan-II, Rabat Maroc.
- Samson N. Maobe (1997). « Screening soil improving herbaceous legumes and integration in short term fallows in maize based cropping systems of Kenya »*, in Iufro *et al.* (éd., 1997) : p. 32.
- Sanginga N., Ibewiro B., Houngnadan P., Vanlauwe B. & Okogun J.A. (1996). « Evaluation of symbiotic properties and nitrogen contribution of *Mucuna* to maize grown in the derived savanna of West Africa », *Pland Soil*, n° 179 : pp. 119-129.
- Scet, Scetagri & Sedes (1984). *Une image à long terme de l'Afrique au Sud du Sahara – Rapport principal*, Bruxelles-Paris, C.C.E.-Caisse des dépôts et consignations, 221 p.
- Sebillotte M. (1985). « La jachère, Éléments pour une théorie », *À travers champs, Agronomes et Géographes, Dynamique des systèmes agraires*, Paris, Orstom (coll. *Colloques et séminaires*) : pp. 175-229.
- Sedogo M.P. (1981). *Contribution à la valorisation des résidus cultureux en sols ferrugineux et sous climat tropical semi aride. Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures*, th. doct.-ingén., univers. Nancy I, I.N.P.L., 195 p.
- Sedogo M.P. (1993). *Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité*, th. doct. es sciences, univ. nat. Côte-d'Ivoire, 333 p.
- Segda Z. & Toe M.B. (1998-b). « Amélioration de la fertilité des sols par les légumineuses de couverture », in Cirad-IEMVT (éd. 1998) : pp. 125-131.
- Segda Z., Hien V., Lompo F. & Becker M. (1998-a). « Gestion améliorée de la jachère par utilisation de légumineuses de couverture », in Buckles *et al.* (éd., 1998) : pp. 189-199.
- Seguy L. (1994). *Contribution à l'étude et à la mise au point des sytèmes de cultures en milieu réel*, Montpellier (France), Cirad, 191 p.

- Seguy L. (1997). *Petit guide de gestion des couvertures pour les systèmes de cultures mécanisés en semis direct, dans les régions tropicales chaudes et humides de basse altitude au Brésil*, Montpellier (France), Cirad CA, 85 p. + annexes.
- Seguy L. (1998). *Systèmes de culture durables avec semis direct, protecteurs de l'environnement, dans les régions du Sud Ouest, des Hauts Plateaux et le Moyen Ouest de Madagascar, en petit paysan*, Rapport de mission, Montpellier (France), Cirad CA, 85 p. + annexes.
- Seguy L., Bouzinac S., Trentini S. & Cörtes N.A. (1996). « L'agriculture brésilienne des fronts pionniers », *Agriculture et Développement*, Montpellier (France), Cirad CA, 12 : pp. 2-62.
- Seyni-Boucar L., Poulain J.F., Faure G. éd. (1997). *Agriculture des savanes du Nord Cameroun*, Actes de l'atelier de Garoua, 25-29 nov. 1996, Montpellier, Cirad-CA, 527 p.
- Skerman P.J. (1982). *Les légumineuses fourragères tropicales*, Rome, F.A.O., 666 p.
- Slaats J. (1997). « *Chromolaena odorata* fallows in food cropping systems in S.W. Ivory Coast »*, in Iufro et al. (éd., 1997) : p. 12.
- Szot L.T. & Palm C.A. (1996). « Nutrients stocks in managed and natural humid fallows », *Plant and Soil*, n° 186 : pp. 293-309.
- Tarawali G. & Kanwe M.B. (1998). « Smallholder's use of *Stylosanthes* for sustainable food production in subhumid West Africa », in Bukles et al. (éd., 1998) : pp. 107-170.
- Toe M.B. & Kanwe A.B. (1998). « Contribution à l'amélioration du disponible fourrager en zone sub-humide : synthèse des travaux de la recherche agronomique au Burkina Faso », in Cirad-IEMVT (éd. 1998) : pp. 117-124.
- Traore M. (1996). « Utilisation de l'*Andropogon gayanus* pour l'amélioration de la production fourragère et la fertilité du sol en zone de savane », in Floret & Pontanier (éd.) : pp. 123-132.
- Triomphe B.L. (1996). *Seasonal Nitrogen dynamics and long term changes in soil properties under the Mucuna - Maize cropping system on the hillsides of eastern Honduras*, th. doct., Cornell University Ithaca (NY, É.-U.A.), 217 p.
- Versteeg M.N., Amadjì F., Eteka A., Houndekon V. & Manyong V.M. (1998). « Collaboration to increase the use of *Mucuna* in production systems in Benin », in Buckles et al. (éd., 1998) : pp. 33-44.
- Vissoh P., Manyong V.M., Carsky J.R., Osei-Bunsu P. & Galiba M. (1998). « Experiences with *Mucuna* in West Africa », in Buckles et al. (éd., 1998) : pp. 85-106.
- Yossi H. & Maïga B.G. (1998). « Effet de quelques jachères artificielles herbacées sur l'accélération de la remontée biologique et la production fourragère dans la zone agro-écologique de la plaine de Gondo », in Floret & Pontanier (éd. 1998) : pp. 56-57.
- Youri A. (1998). « Systèmes de culture avec légumineuses au Cameroun », in Bukles et al. (éd., 1998) : pp. 225-227.
- Zoumana C., Yesso P. & César J. (1996). « La production des jachères pâturées dans le nord de la Côte-d'Ivoire », Floret & Pontanier (éd. 1996) : pp. 113-122.

La jachère agroforestière (arborée ou arbustive) en Afrique tropicale

Jean-Michel Harmand*, Pity Ballé**

Avec l'augmentation de la population en Afrique tropicale, les jachères sont soumises à une forte pression agricole et sylvopastorale et cela se traduit par la diminution de leurs surfaces, de leurs durées mais aussi de leurs ressources pastorales et ligneuses (Masse *et al.*, 1998). Compte tenu de cette exploitation, les jachères naturelles ne remplissent plus leur rôle de restauration de la fertilité physico-chimique ou biologique des sols (Floret *et al.*, 1993). Par conséquent, pour continuer à assurer les différentes fonctions des jachères naturelles dans les terroirs villageois, il est nécessaire de trouver des solutions d'amélioration ou de remplacement des pratiques actuelles. Une des solutions peut être d'introduire l'arbre dans la jachère.

Les plantations d'arbres ou d'arbustes sont une amélioration par rapport à la jachère naturelle dès lors que les effets attendus de la jachère (figure 1), peuvent être obtenus dans un temps plus court que celui nécessaire aux processus de reconstitution de la végétation naturelle. Dans cette synthèse, on distinguera deux types de jachères ligneuses améliorées :

- les jachères arbustives de courte durée (1 à 2 ans) constituées d'arbustes à croissance rapide et fixateurs d'azote (*Sesbania spp.*, *Cajanus cajan*, *Tephrosia spp.*, etc.) installées essentiellement en vue d'améliorer la production de cultures annuelles ;
- les jachères arborées de moyenne durée (4 à 6 ans), voire de longue durée (10 à 15 ans), installées à la fois pour réhabiliter un sol dégradé et pour obtenir diverses productions à partir des arbres. Dans ce cas, les espèces ligneuses utilisées sont soit fixatrices d'azote (*Acacia spp.*, *Prosopis spp.*, *Leucaena spp.*, *Albizia spp.*, etc.), soit non fixatrices (*Senna spp.*, *Eucalyptus spp.*, *Terminalia spp.*, etc.).

Dans les zones peu peuplées où la terre n'est pas une ressource limitante, la jachère naturelle longue peut encore remplir son rôle de reconstitution de la fertilité et de lutte contre les adventices. Dans ce contexte, les agriculteurs ne sont pas disposés à intensifier leur système d'exploitation et en particulier à fournir du travail pour installer une jachère améliorée (Franzel, 1999). En revanche, dans les zones plus peuplées, où la durée de la jachère se raccourcit et où la baisse de fertilité des terres apparaît comme une évidence aux agriculteurs, l'amélioration de la jachère devient une solution intéressante, à la fois pour maintenir la production du système de culture, pour apporter une sécurité foncière et pour fournir des productions propres, comme le bois et le fourrage. Différentes situations dont certaines sont

* Cirad-Forêt, Catié, Apdo 31 Turrialba 7170, Costa Rica.

** Centre de recherche en écologie – Université d'Abobo-Adjamé 08 B.P. 109 Abidjan 08, Côte d'Ivoire.

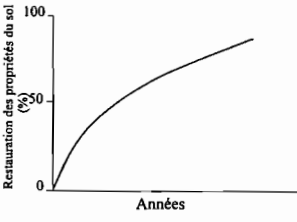
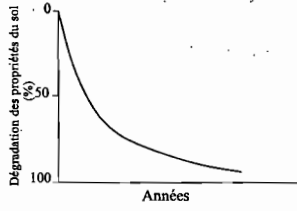
Phase	Processus majeurs
1) Phase de jachère ligneuse (1 à 6 ans)  Restauration des propriétés du sol (%) Années	• Accumulation d'éléments minéraux dans la végétation : apports extérieurs (fixation biologique) ; recyclage depuis la profondeur du sol ; utilisation de formes inaccessibles aux cultures (P). • Amélioration des caractéristiques physiques, organiques et minérales du sol. • Amélioration de l'activité biologique du sol. • Réduction des populations de mauvaises herbes et d'agents pathogènes.
2) Utilisation (exploitation) de la jachère (3 à 4 mois) • (i) Coupe et brûlis • (ii) Coupe et absence de brûlis (mulch)	• Perte d'éléments minéraux par exportation du bois • Accroissement du pH du sol et de la disponibilité en éléments nutritifs (N, P et bses échangeables). • Réduction des agents pathogènes et de la faune du sol. • Pertes de C et N par carbonisation et volatilsation. • Risques de perte d'éléments minéraux par érosion et lixiviation. • Couverture du sol par la MO. • Diminution de la disponibilité en éléments nutritifs à court terme. • Libération plus lente des éléments nutritifs. • Réduction des pertes d'éléments nutritifs. • Augmentation de l'activité biologique du sol. • Meilleur contrôle des mauvaises herbes.
3) Phase de culture (3 à 6 ans)  Dégradation des propriétés du sol (%) Années	• Minéralisation des apports de MO et de la MOS⁽¹⁾. • Exportation des éléments minéraux par les cultures. • Pertes d'éléments minéraux par érosion et lixiviation. • Acidification du sol. • Envahissement progressif par les adventices et développement d'agents pathogènes. (1) matière organique du sol

Figure 1. Résumé des processus et des changements d'état du sol intervenant au cours du cycle jachère ligneuse-culture (inspiré de Rao *et al.*, 1998).

présentées ici se prêtent à l'installation de jachères agroforestières. En zone soudanienne, en retrait des fronts pionniers, après conquête de l'espace agricole, il se reconstitue progressivement un espace de jachère dont on peut penser améliorer l'efficacité en plantant des arbres ; cette plantation permettra de modifier le statut foncier de la terre au bénéfice de l'exploitant, car la mise en jachère sans amélioration est souvent perçue par la communauté comme un signe d'abandon du terrain (Dugué & Dounias, 1995). En zone forestière humide, le raccourcissement du temps de jachère conduit fréquemment à une formation à *Chromolaena odorata*. Cette espèce est sans intérêt économique et son développement rapide

bloque la régénération des espèces forestières pendant de nombreuses années ; d'autre part sa faible biomasse stocke peu d'éléments minéraux, ce qui limite le niveau des restitutions minérales au sol au moment du brûlis (Peltier *et al.*, 1996). Dans ce contexte l'existence d'un débouché pour le bois ou le charbon de bois permettra d'intégrer l'arbre dans les successions culturales (Balle, 1996). D'autre part, si la reconstitution d'une ambiance forestière est importante pour la conduite de cultures comme le cacao ou le café, la jachère arborée peut être utilisée comme une phase d'installation d'une strate ligneuse haute d'un système agroforestier multi-strates à base de ces cultures pérennes (Oualou, 1997). Dans les zones très peuplées, où la densité dépasse quatre-vingts habitants au kilomètre carré, les agriculteurs sont contraints de réduire et même d'abandonner la jachère et de passer progressivement à la culture continue (Dugué, 1998). Il existe néanmoins dans ces systèmes une place pour la jachère arbustive de courte durée. En choisissant l'option la plus courte, l'arbuste peut être installé dans la culture et le développement de la jachère est limité à l'intersaison culturale. Du point de vue du comportement de la culture de maïs, ce système a été testé avec succès sous climat sub-humide, au Malawi (Maghembe *et al.*, 1997) et au Kenya (Niang *et al.*, 2000).

Processus et changements d'état du sol au cours du cycle jachère agroforestière-culture

Dans un système de culture utilisant peu d'intrants, la rotation jachère ligneuse-culture peut être caractérisée par trois phases selon Rao *et al.* (1998) [figure 1] :

- la phase de développement de la jachère correspondant à l'accumulation des éléments minéraux dans la végétation, à l'amélioration des caractéristiques physiques, organiques et biologiques du sol et à la réduction des populations d'adventices et d'agents pathogènes ;
- la phase d'utilisation (exploitation) de la jachère pour laquelle le choix des pratiques (exportation du bois, brûlis) détermine la vitesse et l'importance du transfert des bioéléments de la végétation vers le sol ;
- la phase de culture correspondant à la diminution du stock de bioéléments du système, à l'envahissement progressif du terrain par les mauvaises herbes et à la dégradation générale des conditions de sol.

Les conditions climatiques et édaphiques, le choix des espèces ligneuses, les pratiques d'installation, le mode d'exploitation et enfin la durée de la jachère, détermineront la production de biomasse, la remontée biologique des éléments minéraux, la fixation de l'azote de l'air, différents paramètres de fonctionnement du sol ainsi que le type de production de la jachère (bois, fourrage, gomme, etc.).

L'amélioration de la fertilité par les arbres a fait l'objet de nombreuses études et, pour résumer les processus observés, on peut rappeler les travaux sur les effets des arbres et houquets d'arbres sur les sols, en savane naturelle d'Afrique, décrits par différents auteurs : Bernhard-Reversat (1982), en zone sahélienne au Sénégal ; Belsky *et al.* (1989), en savane semi-aride au Kenya ; Isichei & Muoghalu (1992), en zone soudanienne au Nigeria ; Mordelet *et al.* (1993), en savane guinéenne de Côte-d'Ivoire ; Campbell *et al.* (1994), en zone semi-aride au Zimbabwe. Ces auteurs évoquent les augmentations des teneurs en carbone (C), azote (N), cations et phosphore assimilable du sol sous les houppiers des arbres, constituant des îlots de fertilité dans la savane. Même si on ne peut pas rejeter l'hypothèse d'un certain transfert latéral d'éléments nutritifs opéré par les racines des arbres, de la savane environnante vers leurs houppiers (Kessler & Berman, 1991), la plupart des auteurs décrivent cet effet comme minime par rapport à l'action favorable de l'arbre sur le fonctionnement biologique du sol. Les arbres augmentent la phytomasse racinaire, visitée par la

macrofaune du sol, en particulier les termites, ce qui favorise la décomposition des racines et de la matière organique du sol (Abbadie & Lepage, 1989). Les conditions microclimatiques liées à l'ombrage et l'aération du sol stimulent l'activité microbienne et donc les processus de minéralisation rendant le système plus productif. Les restitutions organiques, plus importantes sous les arbres, entraînent progressivement une plus forte accumulation de carbone et d'azote dans le sol et une augmentation de la capacité d'échange cationique (C.E.C.). Ces processus sont encore amplifiés sous les espèces légumineuses fixatrices d'azote en rapport avec la meilleure qualité de la matière organique (rapport C/N plus faible). Cependant, ces études ne prennent pas en compte le facteur temps nécessaire au développement de ces processus sous les arbres.

L'intégration de l'arbre dans les successions culturales pour soutenir la production agricole tout en raccourcissant le temps de jachère a été présentée, il y a une quinzaine d'années, comme une voie possible de gestion biologique de la fertilité des sols. Aussi, à partir de la fin des années quatre-vingts, les effets de jachères arbustives et de jeunes plantations forestières sur les sols et le comportement des cultures suivantes ont fait l'objet d'un intérêt particulier. Ces études ont utilisé en général une approche expérimentale avec des suivis dans le temps ou dans l'espace. Les plantations d'arbres ou d'arbustes ont été comparées à des témoins de type culture continue, jachère spontanée, strate herbacée graminéenne ou encore jachère améliorée à base de légumineuses herbacées. Ces travaux ont permis d'étudier quelques aspects du fonctionnement écologique de ces systèmes : production de biomasse, stockage et recyclage des éléments minéraux, fixation d'azote, fonctionnement biologique du sol, comportement des cultures après jachère. Les aspects techniques de l'insertion de la jachère agroforestière dans les successions culturales (choix des espèces, mode d'installation, pratiques d'exploitation, etc.) ont été davantage analysés que les aspects socio-économiques. Cependant, l'Icraf (International Center for Research in Agroforestry) a donné un élan particulier aux études socio-économiques ces dernières années et cela concerne essentiellement les jachères arbustives dans les pays d'Afrique de l'Est et d'Afrique australe.

Production de biomasse des jachères forestières

En général, l'introduction d'arbres à croissance rapide dans la jachère au moment de l'abandon cultural augmente la fixation totale annuelle du carbone du système. Harmand (1998) montre que, sur une durée de cinq ans, les jachères plantées d'arbres se montrent plus productives qu'une jachère herbacée constituée au départ de graminées annuelles puis de *Andropogon gayanus* (figure 2). Deux processus sont liés à cette augmentation de production de matière sèche : d'une part l'augmentation de l'évapotranspiration réelle (ETR) induite par les arbres (Millet, 1994) et d'autre part la plus forte minéralisation de la matière organique du sol induite par le contrôle de la strate herbacée à la fois par les techniques d'afforestation et par l'arbre. Néanmoins, à partir de la cinquième année, les espèces ligneuses, comme *Senna siamea*, qui dans ce site ont pratiquement cessé de croître, ne produisent plus que leur litière et deviennent alors moins productives que la strate herbacée à *Andropogon gayanus* (figure 2).

Les données de production de biomasse aérienne ligneuse des jachères forestières, référencées sur le tableau I, indiquent tout d'abord une variation selon un gradient climatique avec une production de l'ordre de une et demie à quatre tonnes par hectare et par an au Sahel et de onze à vingt-cinq tonnes par hectare et par an en zone équatoriale selon les espèces utilisées. De plus, pour une même situation climatique, les données peuvent varier du simple au double, voire au triple selon les conditions édaphiques. La production de litière mentionnée au tableau II montre également une variation selon un gradient climatique avec des

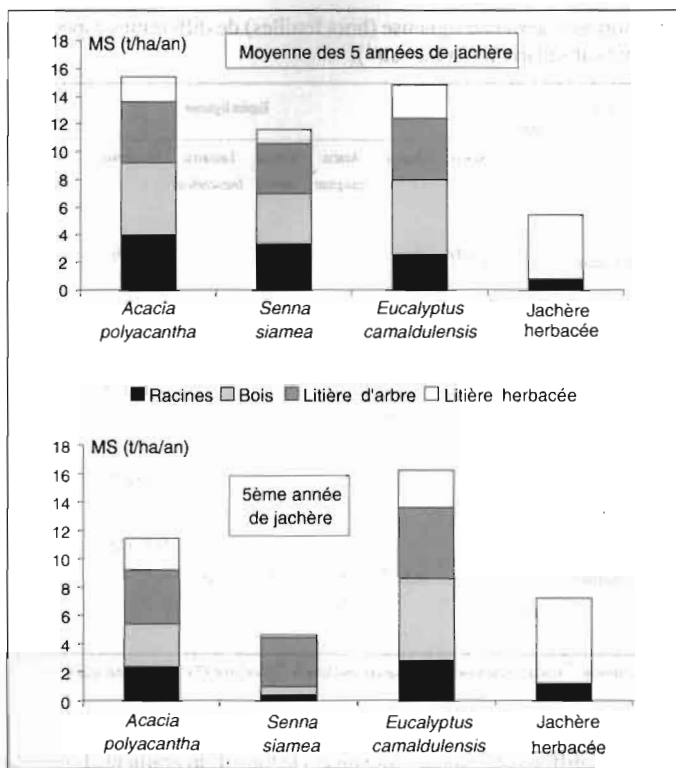


Figure 2. Production annuelle de biomasse (tonnes de matière sèche par ha) dans différentes jachères en zone soudanienne du Cameroun : production moyenne (haut) et production de la dernière année (bas) (d'après Harmand, 1998).

valeurs réparties entre deux tonnes par hectare et par an au Sahel et neuf tonnes par hectare et par an en zone équatoriale. On constate également que selon la situation édaphique, la production de litière d'une même espèce peut varier du simple au double (cas du Cameroun). Ainsi, une faible fertilité du milieu peut limiter le développement de la végétation et les restitutions de litière et donc ralentir les processus de restauration : dans ce cas, il est alors nécessaire d'allonger la durée de la jachère ou d'apporter des engrais pour augmenter son efficacité.

Bernhard-Reversat *et al.* (1998) ont montré qu'à l'échelon régional, le cycle de l'azote des espèces fixatrices, et en particulier du genre *Acacia*, était influencé prioritairement par le climat ; la figure 3 indique une augmentation des restitutions d'azote dans la litière avec la pluviométrie. Les vitesses de décomposition des litières sont également influencées dans le même sens par le climat.

Bilan minéral de la jachère forestière

La figure 4 indique dans différentes situations prises au Cameroun, en Côte-d'Ivoire et au Congo que le contenu en azote de la partie aérienne ligneuse des jachères arborées à base de légumineuses fixatrices d'azote est supérieur à celui des jachères arborées non fixatrices, même lorsque ces dernières présentent une plus forte biomasse. Au Kenya, Niang *et al.*

Tableau I. Productions de biomasse aérienne ligneuse (hors feuilles) de différentes espèces forestières le long d'un gradient climatique en Afrique subsaharienne (t.ha⁻¹.an⁻¹).

Pays	Pluie mm.an ⁻¹	Climat	Sol	Âge (ans)	Espèce ligneuse							Références	
					Acacia	Acacia	Acacia	Albizzia	Leucaena	Eucalyptus	Senna		Gmelina
							mangium	lebbeck	leucocephala		siamea	arborea	
Sénégal	500	Sahélien	Ferrugineux	8	1,7 ⁽¹⁾					3,8 ⁽⁵⁾			Bernhard-Reversat (1987-b)
Sénégal	700	Soudanien	Ferrugineux	4		7,5 ⁽³⁾							Masse <i>et al.</i> (1998)
Cameroun	1 100	Soudanien	Ferrugineux	7	5,3 ⁽²⁾					5,73 ⁽⁵⁾	3,81		Harmand (1998)
Côte-d'Ivoire	1 300	Soudanien	Ferrugineux	6		9 ⁽⁴⁾				10,53 ⁽⁵⁾		13,1	Louppe <i>et al.</i> (1998)
Congo	1 250	Tropical humide	Apport sableux	7,5		16,01 ⁽⁴⁾	14,55						Bernhard-Reversat <i>et al.</i> (1993)
Congo	1 250	"	Apport sableux	7						12,5 ⁽⁶⁾			Laclau (1997)
Cameroun	1 900	Guinéen	Ferralitique	14-40						10,3 - 12,8 ⁽⁷⁾			Njoukam <i>et al.</i> (1996)
Côte-d'Ivoire	1 335	Equatorial	Ferralitique	6		22,33 ⁽⁴⁾	23	11	19				Peltier <i>et al.</i> (1996)
Côte-d'Ivoire		Equatorial		6-9			9-25						Dupuy & Nguessan (1990)

¹ *Acacia seyal*; ² *Acacia polyacantha*; ³ *Acacia holosericea*; ⁴ *Acacia auriculiformis*; ⁵ *Eucalyptus camaldulensis*; ⁶ *Eucalyptus* PF1; ⁷ *Eucalyptus saligna*

Tableau II. Chutes de litière sous différentes espèces forestières le long d'un gradient climatique en Afrique subsaharienne (t.ha⁻¹.an⁻¹).

Pays	Pluie (mm.an ⁻¹)	Climat	Sol	Âge (ans)	Espèce ligneuse							Références	
					Acacia	Acacia	Acacia mangium	Albizzia lebbeck	Leucaena leucocephala	Eucalyptus	Senna siamea		Gmelina arborea
Sénégal	500	Sahélien	Ferrugineux	5-8	1,9 ¹					2,92 ⁵			Bernhard-Reversat (1987-b)
Cameroun	1 100	Soudanien	Ferrugineux	4-7	4,2 ²					4,4 ⁵	3,42		Harmand (1998)
	950	«	«	3-6	2,12 ²						2,43		
Côte-d'Ivoire	1 300	Soudanien	Ferrugineux	4-5		8,3 ⁴				6,95 ⁵		6,64	Ouatara <i>et al.</i> (1997)
Congo	1 250	Tropical humide	Sableux			9,3 ⁴	9,7			6,9 ⁶			Bernhard-Reversat (1993)
Cameroun	1 900	Guinéen	Ferralitique	14-40						3,9-6,5 ⁷			Njoukam (1995)
Côte-d'Ivoire	1 335	Equatorial	Ferralitique	6		7,3 ⁽⁴⁾	7,8	7,4	8,8				Peltier <i>et al.</i> (1996)
Nigeria	1 430	Guinéen	-		4-6								Muoghalu <i>et al.</i> (1993)
Côte-d'Ivoire	1 500-2 100	Equatorial	-		8-15								Bernhard (1970)

¹ *Acacia seyal*; ² *Acacia polyacantha*; ³ *Acacia holosericea*; ⁴ *Acacia auriculiformis*; ⁵ *Eucalyptus camaldulensis*; ⁶ *Eucalyptus* PF1; ⁷ *Eucalyptus saligna*.

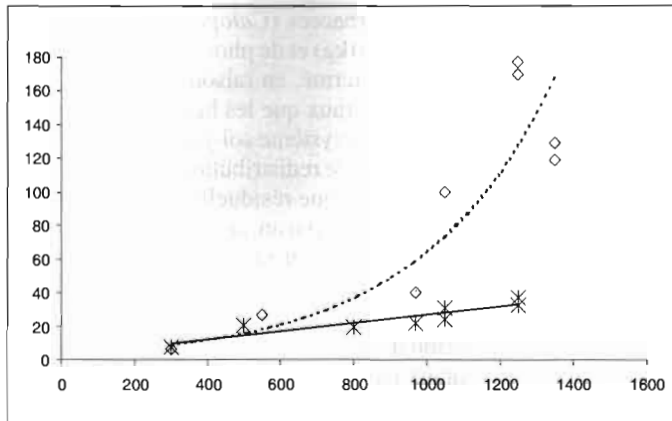


Figure 3. Relations entre la pluviométrie et la quantité d'azote apportée par la litière d'*Acacia* spp. et d'arbres non fixateurs d'azote (d'après Bernhard-Reversat *et al.*, 1998).

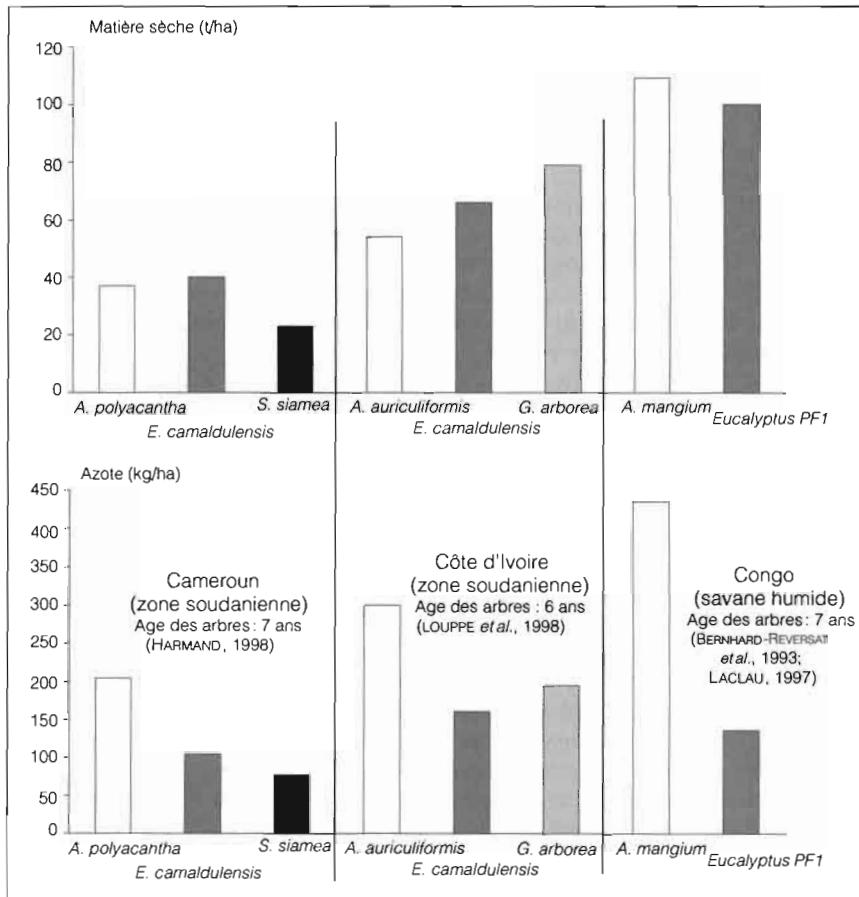


Figure 4. Biomasse ligneuse (t de MS/ha) et contenu en azote (kg N/ha) de cette biomasse ligneuse dans trois situations choisies selon un gradient climatique.

(2000) montrent que les légumineuses herbacées (*Calopogonium spp.*, *Desmodium spp.*) mobilisent en un an autant d'azote (200-250 kg) et de phosphore (20-30 kg) que les arbustes (*Tephrosia spp.*). Néanmoins, à plus long terme, en raison d'une plus forte biomasse, les arbres stockent davantage d'éléments minéraux que les herbacées avec pour conséquence des effets bénéfiques sur le bilan minéral du système sol-jachère et sur la redistribution des éléments minéraux dans le profil cultural, cette redistribution se faisant au moment du brûlis ou par la décomposition de la matière organique résiduelle. Ainsi, en Amazonie, sous une pluviosité de deux mille deux cents millimètres par an, après 4,5 ans de jachère, Szott & Palm (1996) constatent que les arbres : *Inga edulis*, en raison de leur plus fort développement racinaire latéral et vertical, se montrent plus efficaces que les légumineuses herbacées : *Centrosema macrocarpum*, *Pueraria phaseolides* et *Stylosanthes guianensis* dans la limitation de la lixiviation et la récupération des éléments de la profondeur du sol. Cela se traduit par une stabilisation des stocks totaux (sol + végétation) de magnésium et de calcium des jachères arborées alors qu'ils diminuent dans les jachères herbacées en raison des processus de lixiviation accentués par le climat. Mekonnen *et al.* (1997) observent au Kenya que les jachères naturelles et les jachères artificielles à *S. sesban* prélèvent des nitrates de la profondeur du sol accumulés lors de la phase de culture. Étant donné le développement racinaire plus profond de *S. sesban* (4 m au lieu de 2 m pour la jachère naturelle) et la plus faible teneur en eau du sol entre un et deux mètres de profondeur, qui dépasse rarement la capacité au champ contrairement à la jachère naturelle, les auteurs suggèrent alors que l'arbuste a une plus grande capacité à récupérer des éléments de la profondeur du sol et à limiter la lixiviation. De même, Diedhiou *et al.* (2000) au Sénégal, Millet (1994) au Cameroun et Ndene *et al.* (1996) au Sénégal constatent une diminution des teneurs en eau du sol dans les jachères arborées en comparaison avec une culture continue ou une jachère herbacée. Ce plus fort assèchement du sol correspond au Cameroun, à une augmentation de l'évapotranspiration (ETR) et à la plus forte production de biomasse primaire des jachères arborées par rapport à la jachère herbacée (Harmand, 1998). Au Congo, Bernhard-Reversat (1996), et, au Nord du Cameroun, Harmand (1998) constatent, par rapport à l'écosystème savane, un surplus de stock d'azote de l'écosystème *Eucalyptus spp.* de sept ans, de l'ordre de cent kilogrammes par hectare. Cette différence pourrait s'expliquer par une récupération par l'arbre d'azote minéral en profondeur mais cela reste à vérifier.

En prenant en compte le stock de calcium total du sol et le stock de calcium contenu dans la phytomasse aérienne et racinaire, Harmand (1998) a établi les quantités totales de calcium des agrosystèmes de jachère limités à la profondeur quarante centimètres. La comparaison des situations jachères arborées de sept ans et jachère herbacée suggère que les espèces *Acacia polyacantha* et *Eucalyptus camaldulensis* ont opéré un prélèvement de calcium des couches plus profondes que quarante centimètres et un transfert dans la végétation bien supérieur à celui de la jachère herbacée. En sept ans, cette différence serait de l'ordre de six cents à huit cents kilogrammes de calcium par hectare. Ce transfert a été possible en raison de l'existence de réserves minérales disponibles en dessous de cinquante centimètres de profondeur. Au moment de l'exploitation des peuplements, l'exportation du bois selon les pratiques paysannes correspond à deux cent quatre-vingts kilogrammes par hectare de calcium pour *E. camaldulensis* (diamètre des branches supérieur à 1 cm) et à cent kilogrammes par hectare pour *A. polyacantha* (diamètre du bois supérieur à 7 cm). En terme de bilan, si on ne tient compte que de la restitution des résidus d'exploitation et de la litière, les arbres ont procuré un transfert effectif de calcium de la profondeur vers les couches superficielles du sol de plus de trois cents kilogrammes par hectare. Par conséquent, si l'exploitation du bois constitue une perte d'éléments minéraux pour l'écosystème jachère arborée, la restitution des résidus d'exploitation peut représenter un gain pour le système sol-plante cultivée puisque celui-ci est limité à une profondeur de sol plus faible. Donc, l'exportation des éléments minéraux par le bois de la jachère ne nécessite pas forcément un apport immédiat

d'engrais pour la culture. À long terme, il est néanmoins nécessaire de se préoccuper de la conservation du stock minéral de l'écosystème (Peltier *et al.*, 1996). À ce sujet, les études ont montré en général l'importance des petits compartiments tels que les branches et l'écorce dans la rétention des éléments minéraux et donc, l'exportation de ces éléments dépendra directement du mode d'exploitation de la biomasse. Ainsi, Njoukam *et al.* (1996), Harmand *et al.* (1997), Laclau (1997), Harmand (1998) et Laclau *et al.* (à paraître) ont montré pour *Eucalyptus spp.* que l'écorce représentant six à quatorze pour cent de la biomasse du tronc, contenait quarante-sept à quatre-vingt-deux pour cent du calcium, cinquante pour cent du magnésium et trente à cinquante-quatre pour cent du potassium du tronc. L'écorçage des troncs sur le terrain permet alors une restitution des éléments minéraux en particulier du calcium et, dans certains cas, du magnésium et du potassium, bien supérieure à celle procurée par le retour des branches.

Modifications des caractéristiques chimiques du sol par la jachère agroforestière

D'après Buresh & Tian (1998), Rao *et al.* (1998) et Szott *et al.* (1999), il apparaît que la modification des caractéristiques chimiques du sol par la jachère ligneuse à base de légumineuses fixatrices d'azote correspond essentiellement à l'accroissement des fractions organiques labiles et à l'augmentation du stock d'azote et de sa disponibilité. Les changements concernent également le phosphore assimilable et les cations échangeables. L'importance de ces modifications dépend de l'espèce utilisée, des conditions de sol et de climat et de la longueur de la jachère.

Dans leur synthèse sur les processus bio-physiques des systèmes agroforestiers, Rao *et al.* (1998) mentionnent des augmentations significatives des teneurs en carbone, en azote et en éléments échangeables du sol de surface, observées après des jachères même de très courte durée. Ces observations ont pu être faites après une année de jachère de *Cajanus cajan* et de *Leucaena spp.* dans l'Ouest du Kenya (Onim *et al.*, 1990) et après une année de jachère à *Tephrosia candida* dans le Sud du Cameroun (Prinz, 1986). Au Nigeria, deux années de jachère à *T. candida* ont permis d'augmenter les teneurs en carbone et en azote de l'horizon zéro-cinq centimètres par rapport à la jachère herbacée (Gichuru, 1991). Néanmoins, très souvent ces améliorations des stocks de carbone et d'azote totaux du sol durant la phase initiale de la jachère ne se rencontrent pas, même sous des espèces fixatrices d'azote. Ainsi après deux ans de jachère à *Sesbania sesban* en Zambie, Torquebiau & Kwesiga (1996) ne constatent pas de variation significative du stock de carbone de l'horizon zéro-vingt-cinq centimètres par rapport à l'état initial. En Zambie, Barrios *et al.* (1997) ne constatent pas, par rapport à une culture continue, d'effet de jachères de deux à trois ans, à base de légumineuses ligneuses, sur les teneurs en carbone et en azote de l'horizon zéro-quinze centimètres. Maroko *et al.* (1998) mentionnent le même résultat pour une jachère naturelle et une plantation de *S. sesban* de dix-sept mois au Kenya. Au Centre de la Côte-d'Ivoire, Schroth *et al.* (1995) ne constatent pas de différence entre les stocks de carbone et d'azote de l'horizon zéro-dix centimètres sous neuf espèces légumineuses qui présentent pourtant des développements racinaires et des productions de litière différentes après cinq ans de plantation. Au Nord du Cameroun, sous mille millimètres de pluviosité annuelle, après deux ans de jachère à *A. polyacantha*, *S. siamea* et *E. camaldulensis* ⁽¹⁾ les teneurs en carbone et en azote de l'horizon zéro-cinq centimètres ne diffèrent pas par rapport à la jachère herbacée (Harmand, 1998). De même, en zone soudano-sahélienne au Sénégal (700 mm de pluviosité annuelle),

(1) Les arbres ont été plantés dans une culture 2 ans avant la mise en jachère et ont, par conséquent, 4 ans.

deux ans de croissance de *Acacia holosericea* ne suffisent pas pour augmenter les stocks de carbone et d'azote du sol (Uguen, 1996). Par la suite, la tendance peut même s'inverser et après quatre ans de jachère sur le même site au Sénégal, Masse (1998) observe une plus faible teneur en carbone mais aussi en phosphore assimilable, calcium et magnésium échangeables de l'horizon zéro-dix centimètres sous *A. holosericea*, comparativement à la jachère herbacée.

Les observations faites sur les sols de jeunes peuplements forestiers montrent que les effets dépressifs sur les caractéristiques chimiques du sol semblent être une tendance commune du comportement de nombreuses espèces ligneuses en plantation dans le jeune âge. Au Sud de la Côte-d'Ivoire, Oliver & Ganry (1994) mentionnent une plus faible teneur en azote sous *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium* de cinq ans que dans la jachère herbacée à *C. odorata*. Au Congo, Bernhard-Reversat (1996) constate, sous les mêmes *Acacia*, à l'âge de sept ans, une diminution de la teneur en azote de la fraction organo-minérale, et une plus faible teneur en bases échangeables du sol (K, Ca, Mg) que dans la strate herbacée environnante. Les effets défavorables des jeunes plantations d'eucalyptus sur les caractéristiques chimiques du sol ont déjà été évoqués par de nombreux auteurs : Pochon *et al.* (1959), au Maroc ; Bernhard-Reversat (1987-a, 1988), au Sénégal ; Loubelo (1990) et Bernhard-Reversat (1991, 1993, 1996), au Congo ; Toky & Singh (1993), en Inde ; King & Campbell (1994), au Zimbabwe ; Jonsson *et al.* (1996), en Tanzanie ; Harmand & Njiti (1998), au Cameroun. Au Nigeria, Chijicke (1980) note une baisse du taux de matière organique du sol (MOS) sous *Gmelina arborea* comparativement à la strate herbacée environnante. Aux Philippines, Ohta (1990) constate une dégradation des caractéristiques organiques (C et N) et de la capacité d'échange cationique sous *A. auriculiformis* de cinq ans ainsi qu'une baisse du taux de matière organique et une acidification du sol sous *Pinus kesiya* de huit ans.

La dégradation des caractéristiques chimiques du sol sous de jeunes plantations serait due à l'augmentation de la minéralisation de la matière organique initiale induite par l'afforestation (Ohta, 1990 ; Bernhard-Reversat, 1996 ; Harmand, 1998 ; Szott *et al.*, 1999) et au prélèvement accru d'éléments minéraux par les arbres. Ces pertes ne seraient compensées que lentement par des apports liés à la décomposition des litières. Néanmoins, avec le temps, les auteurs observent en général une amélioration des caractéristiques du sol en surface. Il semble alors qu'il existe une période de latence (Bernhard-Reversat, 1996), variable selon l'espèce, entre la plantation des arbres et l'augmentation des taux de carbone et d'azote sous couvert. Au Congo, le même auteur note que la teneur en carbone du sol sous plantation d'eucalyptus hybride retrouve celle de la savane environnante à sept ans alors que la teneur en azote demeure inférieure. Au cours des années suivantes, les teneurs en carbone et en azote croissent de façon importante. Dans le cas des plantations de *A. auriculiformis* et *A. mangium*, cette période est plus courte que pour l'eucalyptus et l'accroissement des teneurs en carbone et en azote par rapport à la savane est effectif à six-sept ans. De même, Polglase *et al.* (1992) observent une augmentation de carbone et d'azote du sol avec l'âge de la plantation de *Eucalyptus regnans* en Australie. Aux Philippines, Ohta (1990) constate une amélioration des caractéristiques organiques (C et N) et minérales (pH) du sol des vieilles plantations par rapport à la strate herbacée environnante.

Cette différence de dynamique de régénération des sols entre les espèces tiendrait au niveau d'accumulation et à la qualité de la litière ainsi qu'à la nature du microclimat induit par le couvert forestier. En général, les espèces fixatrices d'azote se montrent plus aptes que les non fixatrices dans l'augmentation rapide des stocks de carbone et d'azote du sol. Ainsi, au Cameroun, sur sol ferrugineux sableux, après quatre ans de jachère ⁽²⁾, seul *A. polyacantha* (espèce fixatrice d'azote) comparé à *S. siamea*, *E. camaldulensis* et à la jachère herbacée à *Andropogon gayanus*, permet d'obtenir une augmentation significative de la teneur en

(2) Les arbres ont alors 6 ans.

carbone et en azote de l'horizon zéro-vingt centimètres par rapport à la situation initiale (Harmand & Njiti, 1998). D'autre part, un enrichissement du sol en azote sous *A. auriculiformis* et *A. mangium* a été relevé en comparaison avec eucalyptus hybride du Congo (Bernhard-Reversat, 1996) et *Gmelina arborea* et *E. camaldulensis* en Côte-d'Ivoire (Louppe *et al.*, 1998).

En Tanzanie, Jonsson *et al.* (1996) utilisent à la fois des analyses classiques de sol et des mesures d'abondance naturelle de ^{15}N et ^{13}C pour comparer des jachères de huit ans. Ils montrent alors que la teneur en azote du sol sous *Prosopis juliflora* et la contribution au carbone du sol par cette même espèce sont supérieures à celles observées avec *Leucaena leucocephala*, *S. siamea*, *E. camaldulensis* et *E. tereticornis*. Des différences existent par conséquent entre espèces fixatrices d'azote et les travaux réalisés au Sud de la Côte-d'Ivoire le confirment : Oliver & Ganry (1994), Peltier *et al.* (1996), N'Goran *et al.* (1997) mentionnent que les acacias australiens et en particulier *A. auriculiformis* sont moins efficaces que les espèces *Albizzia lebbek* et *L. leucocephala* dans la restauration ou le maintien du stock d'azote du sol.

L'action de la jachère sur la matière organique du sol concerne essentiellement les débris végétaux

Feller *et al.* (1993) montrent que, pour des durées de jachère d'environ cinq ans, et en particulier pour les sols d'Afrique tropicale aux horizons de surface à texture grossière, une part importante de la variation des teneurs en MOS est due à la fraction organique grossière présentant également le plus fort taux de renouvellement. L'augmentation du carbone du sol sous *A. polyacantha* au Nord du Cameroun est due essentiellement à la fraction organique grossière (débris végétaux) de taille comprise entre cinquante et deux mille micromètres (Harmand *et al.*, 2000). Cette incorporation de débris végétaux au sol a été favorisée par une teneur élevée en azote de la litière et des racines due à la fixation biologique et par un important recyclage de l'azote par le sol. On observe également, sous *A. polyacantha*, une augmentation de la teneur en carbone et en azote de la fraction organominérale (taille inférieure à 20 μm) [Harmand *et al.*, 2000]. Ce phénomène, déjà observé pour *Acacia seyal* au Sénégal (Bernhard-Reversat, 1987-a) correspond à une humification des débris végétaux. On comprend bien alors l'intérêt d'augmenter la durée de la jachère pour améliorer la qualité de la MOS en particulier le compartiment de matière organique stable.

Bernhard-Reversat (1987-a) a montré, au Sénégal, que les quantités de fractions organiques grossières différaient sous diverses espèces ligneuses et que leur importance et leur composition chimique interféraient avec la dynamique de l'azote dans les peuplements (Bernhard-Reversat, 1988). Ainsi, sous *Acacia seyal*, la forte minéralisation de l'azote du sol correspondait à une importante fourniture d'azote minéral par la fraction organique de taille supérieure à deux cents micromètres (environ 50 p. cent). Sous *E. camaldulensis* où la minéralisation mesurée *in situ* était cinq à six fois plus faible, la même fraction organique, moins importante et moins riche en azote, ne fournissait pas d'azote minéral. Plus récemment, la quantité d'azote dans les fractions organiques grossières et « légères » (taille comprise entre 150 et 3000 μm ; densité inférieure à 1,37 g.cm^{-3}) a été identifiée comme une mesure permettant de différencier les systèmes de cultures avec ou sans apport de matière organique ligneuse (Barrios *et al.*, 1996; Buresh & Tian, 1998; Maroko *et al.*, 1998). En fait, cette quantité s'est montrée bien corrélée avec la minéralisation de l'azote du sol. Plusieurs études comparant différents modes de gestion des sols, ont montré des variations de contenu en fractions organiques grossières de l'horizon zéro-quinze centimètres, alors que les teneurs en carbone et en azote totaux n'étaient pas différents :

- après deux à trois ans de jachère en Zambie, *Sesbania sesban* a été plus efficace que *Caliandra calothyrsus*, *Flemingia macrophylla*, *G. sepium*, *L. leucocephala* et *S. siamea* dans l'augmentation de ces fractions (Barrios *et al.*, 1997);
- au Kenya, par rapport à la jachère herbacée et à la culture continue sans engrais, la jachère à *Sesbania sesban* de dix-sept mois présentait une plus grande quantité d'azote dans la fraction organique grossière (Maroko *et al.*, 1998).

Les caractéristiques minérales du sol sont fortement influencées par le brûlis lors de la remise en culture

Si en général, on mentionne une amélioration des caractéristiques organiques du sol, plus ou moins rapide selon l'espèce plantée, les caractéristiques minérales ne montrent pas forcément les mêmes changements. Comme l'augmentation du stock de carbone du sol est due essentiellement aux débris végétaux (taille supérieure à 50 µm) peu efficaces dans les propriétés d'échange cationique (Feller, 1995), cette augmentation a peu d'effet sur les caractéristiques du complexe absorbant. Ainsi malgré l'augmentation significative du stock de carbone de l'horizon zéro-vingt centimètres sous *A. polyacantha*, Harmand & Njiti (1998) n'observent pas de changement de la capacité d'échange cationique et constatent seulement une augmentation significative du magnésium échangeable. Étant donné le prélèvement d'éléments minéraux par les arbres, l'augmentation ou le maintien des stocks d'éléments échangeables dans les horizons supérieurs avant exploitation de la jachère sont dus essentiellement au recyclage des éléments de la profondeur du sol vers la surface par l'intermédiaire de la chute de litière (Rao *et al.*, 1998).

Le phosphore assimilable du sol présente souvent une diminution dans la jachère arborée en raison de son prélèvement par les arbres et de son immobilisation dans la biomasse ligneuse. On mentionne une baisse de phosphore assimilable sous une jachère de un an à *Cajanus* ou à *Leucaena* au Kenya (Onim *et al.*, 1990) et dans des jachères arborées de huit ans (Jonsson *et al.*, 1996). Harmand (*données non publiées*) observe une plus forte baisse du phosphore assimilable dans les jachères arborées de cinq ans à *A. polyacantha* et *E. camaldulensis* que dans la jachère herbacée à graminées.

En zone humide, sur les sols ferralitiques acides au Sud-Ouest du Nigeria, Adejuwon & Adesina (1990) observent une augmentation du carbone du sol avec la durée de la jachère à *G. sepium* (1 à 8 ans) mais ils observent également une désaturation progressive du complexe absorbant. L'acidification du sol serait due à l'apport d'acides organiques par la minéralisation de la matière organique et au fort prélèvement d'éléments minéraux par les ligneux abaissant la somme des cations échangeables. De même, en Amazonie, sous une pluviosité de deux mille deux cents millimètres par an, après quatre ans et demi de jachère à base de différentes légumineuses herbacées ou arborées, Szott & Palm (1996) observent dans l'horizon zéro-quarante-cinq centimètres, une augmentation significative du stock d'azote due en partie à la fixation et une diminution de tous les autres éléments. Ce dernier phénomène s'explique par la forte minéralisation de la MOS observée durant la première année d'installation de la jachère et par les processus de lixiviation accentuée par le climat et d'accumulation d'éléments dans la biomasse.

Au moment du défrichement, le brûlis de la végétation ou des résidus en cas d'exploitation du bois permet de corriger ces effets. Dans les jachères forestières en zone humide, Moreau (1993) souligne que le brûlis de celle-ci avant la remise en culture procure une forte élévation du pH (en particulier par apport de carbonate de calcium, élément peu soluble et peu lessivable) et un enrichissement minéral, permettant de redonner une capacité productive au sol. Contrairement à l'azote perdu à quatre-vingt-dix pour cent lors du brûlis (César, 1992), on peut considérer que la majorité des éléments minéraux phosphore, potassium, calcium et magnésium retourne au sol par les cendres. César (1992) donne des taux de restitution de

cinquante-quatre pour cent pour le potassium, soixante-treize pour cent pour le calcium et soixante-dix-sept pour cent pour le phosphore dans la savane graminéenne de Lamto.

Harmand & Njiti (1998) montrent, sur *E. camaldulensis*, qu'après exploitation du bois de diamètre supérieur à trois centimètres, le brûlis de la litière et des résidus permet d'augmenter de façon importante le pH ainsi que le niveau du phosphore assimilable. La capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent également et retrouvent ainsi des niveaux comparables à ceux obtenus après des jachères à *A. polyacantha* et *S. siamea*. Dans cette situation, si la technique du brûlis est nécessaire après eucalyptus pour restituer les éléments fortement immobilisés dans la litière et dans les résidus, derrière les autres jachères, le brûlis ne permet pas d'améliorer grandement les propriétés chimiques du sol. Néanmoins, le plus fort stockage d'éléments dans la phytomasse des jachères ligneuses que dans celle de la jachère herbacée permet au brûlis d'augmenter les caractéristiques minérales de l'horizon zéro-dix centimètres (Ca échangeable et somme des bases échangeables) des jachères arborées par rapport à la jachère herbacée et cela malgré les exportations de bois (Harmand & Njiti, 1998).

Amélioration de la porosité du sol en surface

Suite à l'apport de matière organique au sol par la litière et à l'accroissement de la biomasse racinaire (Schroth, 1995), la jachère agroforestière améliore les propriétés physiques du sol par différents processus comme l'activité racinaire, l'activité biologique du sol et la décomposition des débris végétaux du sol et des racines qui crée des macropores (van Noordwijk *et al.*, 1991 ; Harmand & Njiti, 1998 ; Rao *et al.*, 1998).

Dans des jachères à *Sesbania sesban* de un an et de deux ans en Zambie, Torquebiau & Kwesiga (1996) observent, avec l'âge de la jachère, une amélioration de l'infiltration et une diminution de la résistance à la pénétration. Ils constatent simultanément une augmentation de la biomasse racinaire en surface et une progression des racines vers la profondeur. Pour de jeunes plantations d'arbres de cinq à huit ans comparées à une jachère herbacée naturelle ou une culture continue, Ohta (1990) aux Philippines sur sol argilo-sableux, et Harmand & Njiti (1998), au Cameroun, sur sol ferrugineux sableux, constatent que les variations significatives de densité apparente du sol entre les différentes situations sont limitées à la profondeur cinq centimètres. Au Cameroun, les plus faibles valeurs de densité obtenues sous *Acacia polyacantha*, jachère naturelle herbacée protégée et *Senna siamea* indiquent une plus forte porosité du sol que sous *Eucalyptus camaldulensis* où celle-ci est tout de même améliorée par rapport à la culture continue (tableau III). Il existe une corrélation négative significative entre la densité apparente et la teneur en carbone du sol, confirmant que la porosité du sol augmente avec l'incorporation de matière organique au sol (Harmand & Njiti, 1998). Ohta (1990) constate, comparativement à la strate herbacée environnante à base de graminées, un effet améliorateur de la porosité du sol, par de jeunes plantations de *Acacia auriculiformis* de cinq ans et de *Pinus kesiya* de huit ans.

Tableau III. Densités apparentes de l'horizon 0-5 centimètres d'un même sol en fonction du type de jachère de quatre ans (D'après Harmand & Njiti, 1998).

<i>Acacia polyacantha</i>	<i>Senna siamea</i>	Traitements <i>Eucalyptus</i> <i>camaldulensis</i>	Jachère herbacée	Culture continue
1,32 c	(1,32)	1,37 b	1,33 c	1,44 a

Deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 p. cent.

Macrofaune invertébrée du sol

Si les micro-organismes constituent le stade ultime de la décomposition des résidus végétaux et de la libération des nutriments dans l'écosystème, la macrofaune influence ces processus de façon importante, que ce soit par la consommation directe des résidus, par l'ingestion de la microflore ou encore par la création de conditions favorables au développement et à l'activité des micro-organismes (Lavelle, 1988 ; Tian, 1998).

La qualité de la matière organique apportée au sol et le microclimat auraient une influence sur l'évolution des populations de macro-invertébrés dans les jachères ligneuses. Rao *et al.* (1998) indiquent un effet favorable de la jachère à *S. sesban* sur les populations de vers de terre et de termites en comparaison avec une jachère naturelle ou une culture continue et l'expliquent par la bonne qualité de la litière à *S. sesban*.

Dans trois jachères arborées de cinq ans à *A. auriculiformis*, *E. camaldulensis* et *Gmelina arborea*, au Nord de la Côte-d'Ivoire (1300 mm de pluviosité annuelle), Ouattara *et al.* (1997) montrent que les vers de terre et les termites constituent l'essentiel des populations de macro-invertébrés du sol. Dans les horizons étudiés (0-30 cm), les vers de terre sont plus abondants sous *A. auriculiformis* et *G. arborea* que sous *E. camaldulensis* alors que c'est l'inverse pour les termites. Les vers de terre sont surtout abondants en pleine saison des pluies (août, septembre et octobre) alors que les termites sont plus abondants en début et fin de saison des pluies. Les auteurs expliquent que les jachères au couvert végétal dense (*A. auriculiformis* et *G. arborea*) ont procuré des conditions microclimatiques favorables au maintien de l'humidité du sol et à la prolifération des vers de terre. En revanche, les eucalyptus qui laissent pénétrer le rayonnement solaire et assèchent davantage le sol auraient créé des conditions plus favorables à la présence des termites. Ces effets peuvent être liés également à la qualité de la matière organique produite par les différentes espèces.

Au Sénégal, sous sept cents millimètres de pluviosité annuelle, Masse (1998) constate, par rapport à la jachère naturelle, une forte diminution des densités de vers de terre, de fourmis et de myriapodes dans la jachère à *A. holosericea*. La composition des groupes trophiques de termites est également modifiée. Alors que dans les jachères herbacées, les termites sont dominés par les lignivores, sous *Acacia*, les champignonnistes plus ubiquistes dominent. L'effet dépressif de *A. holosericea* sur certains groupes faunistiques pourrait être dû à l'assèchement du sol par l'arbre mis en évidence par Ndene *et al.* (1996).

Au Congo, Mboukou-Kimbatsa *et al.* (1998) indiquent que sous *A. auriculiformis* et *A. mangium*, les populations de la macrofaune du sol sont d'une part plus abondantes que sous eucalyptus et pins et d'autre part proches de celles qu'on rencontre en forêt avec parfois des biomasses supérieures. Les auteurs attribuent ce facteur à la bonne qualité des litières. Ils suggèrent que l'accumulation et la qualité de la matière organique du sol, résultant de l'accumulation et de la qualité des litières pourrait être, avec la modification du microclimat, l'un des plus importants changements écologiques résultant de l'afforestation des savanes.

Remise en culture après jachère ligneuse

Comportement des cultures

Différentes études ont montré que les jachères à base de légumineuses herbacées amélioraient le rendement des cultures par rapport à des jachères à base de graminées (Drechsel *et al.*, 1996 ; Hien *et al.*, 2000). Comme il a été mentionné plus haut, l'intérêt des arbres et arbustes par rapport aux légumineuses herbacées est leur capacité de récupérer les éléments minéraux de la profondeur du sol et d'augmenter la biomasse et le stock des éléments minéraux de la jachère. La fixation d'azote demeure également un processus essentiel de la

restauration de la fertilité par les arbres. Rao *et al.* (1998) mentionnent en général une amélioration du rendement des cultures après différentes jachères arbustives de courte durée à base de légumineuses en comparaison avec une jachère naturelle. Ainsi, le pois d'angole (*Cajanus cajan*) a permis d'augmenter de cinquante-cinq pour cent le rendement de la culture de maïs après une année de jachère en Inde (Kumar Rao *et al.*, 1983) et après trois ans de jachère au Malawi (Prinz, 1986). Au Nigeria, si deux années de jachère à *Tephrosia candida* accroissent le rendement du maïs de cent soixante pour cent comparativement à la jachère naturelle buissonnante, deux années de jachère à *C. cajan* ne montrent pas d'amélioration (Gichuru, 1991). En Zambie, on a constaté l'intérêt d'augmenter la durée de la jachère à *S. sesban* de un à deux ans pour augmenter le rendement du maïs (Torquebiau & Kwesiga, 1996) et les effets résiduels de cette jachère se sont faits sentir pendant quatre ans (Kwesiga *et al.*, 1999). Au Malawi, la jachère de contre-saison à *S. sesban* a été testée. L'arbuste est installé dans la culture de maïs et la jachère se développe entre deux saisons culturales. Au moment de la remise en culture, le bois est exporté (au maximum 4 t.ha⁻¹) et les résidus non ligneux sont incorporés au sol au moment du labour. Ce type de jachère a permis d'augmenter le rendement du maïs dès la deuxième année (0,7 à 2,6 t.ha⁻¹) [Maghembe *et al.*, 1997]. Au Kenya, Niang *et al.* (2000) établissent un bilan des productions de la culture de maïs sur cinq saisons étalées sur 2,5 ans comprenant la période de jachère. Ils mentionnent alors que le semis direct de *S. sesban* procure des augmentations de rendement par rapport à une jachère herbacée annuelle à base de graminées de vingt et de soixante pour cent, suivant qu'il y a apport ou non de phosphore à la culture. Par ailleurs, les mêmes auteurs mentionnent que, comparativement à la culture continue, les rendements obtenus après trois saisons de culture compensent largement les pertes dues à la période de jachère de un an à *S. sesban* ou *T. vogelii*. Enfin, Niang *et al.* (2000) comparent différentes espèces de *Crotalaria*, *Tephrosia* et *Desmodium* et montrent que la biomasse et la minéralomasse aérienne (N et P) de ces jachères de un an influencent directement le rendement de la culture du maïs après jachère.

Sur les sols appauvris chimiquement, la disponibilité en azote du sol est le facteur principal influençant le rendement des cultures après jachère. Au Kenya, sur deux types de sol (oxisol et alfisol) Maroko *et al.* (1998) comparent une jachère sans végétation, une jachère herbacée, une culture continue sans engrais et une jachère à *S. sesban* de dix-sept mois. Sur les deux types de sol, les auteurs montrent que la teneur du sol en azote minéral, la minéralisation de l'azote du sol mesurée *in vitro* et le contenu en azote des débris végétaux du sol (taille comprise entre 150 et 3 000 µm ; densité inférieure à 1,37 g.cm⁻³) sont trois indices de disponibilité de l'azote (horizon 0-15 cm) corrélés positivement avec le rendement du maïs après défriche. Dans ce cas, la teneur du sol en azote minéral avant le semis de la culture est d'ailleurs un meilleur indicateur du rendement du maïs que la quantité d'azote contenue dans les débris végétaux du sol. La meilleure production du maïs est obtenue après la jachère à *S. sesban*. De même, Barrios *et al.* (1997) indiquent une bonne corrélation entre la quantité d'azote contenue dans les débris végétaux du sol de six jachères à *S. sesban*, *C. calothyrsus*, *F. macrophylla*, *G. sepium*, *L. leucocephala* et *S. siamea* et le rendement du maïs après jachère. Par ailleurs Jonsson *et al.* (1996) constatent que le rendement du maïs après différentes jachères de cinq ans à *P. juliflora*, *L. leucocephala*, *S. siamea*, *E. camaldulensis* et *E. tereticornis* est corrélé négativement avec le rapport « lignine + polyphénols/azote » des feuilles des différents précédents, indicateur de la disponibilité en azote.

À Oumé, en Côte-d'Ivoire, Schroth *et al.* (1995) ont étudié neuf légumineuses ligneuses originaires d'Amérique centrale dont six espèces fixatrices d'azote (*Leucaena spp.*, *Albizia spp.*, *Ateleia herbert-smitti*, *Gliricidia sepium*) et trois Césalpinales (*Caesalpinia spp.*) (figure 5). Ces jachères arborées de cinq ans ont été comparées avec la jachère herbacée à *C. odorata*. Les caractéristiques mesurées sur le terrain sont la chute de litière durant 6,5 mois et la biomasse de racines fines de l'horizon zéro-dix centimètres. Les caractéristiques mesurées au laboratoire sont : les teneurs en carbone et en azote de l'horizon zéro-dix centimètres,

la minéralisation de l'azote du sol en aérobose et la production de matière sèche du riz cultivé en pots à partir du même sol. La minéralisation de l'azote du sol est bien corrélée avec la phytomasse de racines fines des espèces fixatrices d'azote (figure 5) et aussi avec la chute de litière de sept des neuf espèces ligneuses. La minéralisation de l'azote est également corrélée positivement avec la production de matière sèche du riz. Les auteurs distinguent les espèces fixatrices « mobilisatrices » d'azote à fort développement racinaire (*Leucaena spp.*) des espèces fixatrices « accumulatrices » (*Albizzia spp.*, *G. sepium*). Par rapport à ces dernières, les espèces « mobilisatrices » favoriseraient une moindre accumulation d'azote dans la MOS et une plus forte accumulation dans la phytomasse racinaire. La chute de litière et la biomasse racinaire des espèces fixatrices d'azote ont donc été identifiées par Schroth *et al.* (1995) comme des critères pouvant caractériser l'aptitude agronomique des espèces ligneuses de la jachère. Devant l'absence de différence entre les espèces ligneuses au niveau des caractéristiques chimiques du sol (C, N et P assimilable), les auteurs soulignent l'intérêt de mesurer les paramètres biologiques du sol par des techniques d'incubation. Dans cette étude, ces mesures permettent d'apprécier les différences de fertilité du sol ayant une incidence sur le comportement des cultures. Il faut souligner qu'on observe avec *C. odorata* une forte minéralisation de l'azote du sol (figure 5) et un niveau de rendement du riz parmi les meilleurs. Slatts (1996) indique également des augmentations de rendement du maïs durant deux ans après une jachère à *C. odorata* dans la région de Taï en Côte-d'Ivoire ; cependant, on ne sait pas si la conduite d'un tel système de culture en alternance avec ce type de jachère est durable étant donné l'absence de fixation symbiotique de l'azote par cette plante.

Ces résultats sont confirmés par ceux obtenus également sur le site d'Oumé en Côte-d'Ivoire par N'Goran *et al.* (1997). Durant quatre années de culture de maïs après six années de jachère à *A. mangium*, *A. auriculiformis*, *Albizzia lebbek*, *Leucaena leucocephala* et *C. odorata*, le précédent *L. leucocephala* a toujours un niveau de rendement en maïs parmi les

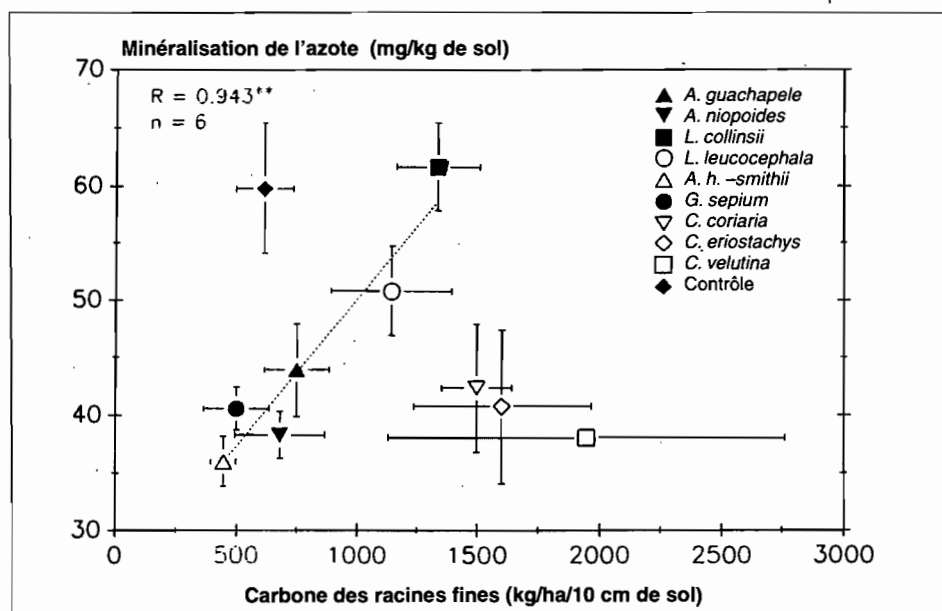


Figure 5. Relation entre le carbone des racines fines (0-5 mm) dans l'horizon 0-10 cm et la minéralisation de l'azote du sol mesurée *in vitro* en 70 jours dans 9 jachères de 5 ans à Oumé (Côte d'Ivoire). Le coefficient de corrélation a été calculé pour les espèces fixatrices d'azote (d'après Schroth *et al.*, 1995).

plus élevés et le précédent *A. auriculiformis* se place toujours en dessous des autres et parfois de façon significative (figure 6). Lorsque la culture est pratiquée sans engrais, le rendement du maïs en premier cycle est de l'ordre de quatre tonnes par hectare durant les deux premières années, puis connaît une baisse de cinquante pour cent et tombe à deux tonnes par hectare en troisième et en quatrième années. Avec fertilisation minérale et pour les mêmes périodes considérées, les rendements passent de six à quatre tonnes par hectare. Comme l'a souligné Ballé (1996), la jachère arborée qui n'améliore pas le rendement des cultures par rapport à la jachère à *C. odorata* n'est justifiée dans ce contexte que pour sa production complémentaire de bois, à condition bien sûr que celle-ci constitue réellement une source de revenus pour le paysan.

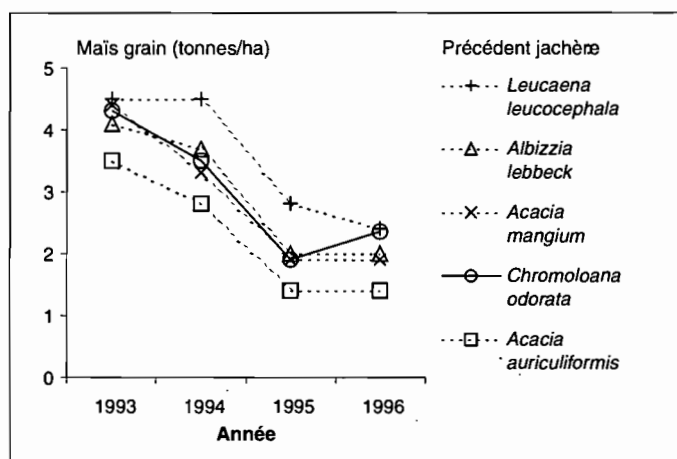


Figure 6. Rendement du premier cycle annuel de culture, sans engrais, après 6 ans de jachère à Oumé (Côte d'Ivoire), (d'après N'Goran *et al.*, 1997).

Néanmoins, dans les sols appauvris en azote, en augmentant le stock d'azote de la jachère et la dynamique de l'azote du sol, les arbres fixateurs améliorent le rendement des cultures. En zone soudanienne du Cameroun, Harmand & Njiti (1998) indiquent des rendements du maïs deux à trois fois plus élevés après des jachères de deux et cinq ans améliorées par *A. polyacantha* qu'après des jachères naturelles ou améliorées par *E. camaldulensis* et *S. siamea* (tableau IV). Les auteurs attribuent cette augmentation à la fois à un fort stockage de l'azote et à une forte activation du cycle de l'azote dans les parcelles à *A. polyacantha*. Après seulement deux ans de jachère, sans constater de modification des teneurs en carbone et en azote totaux du sol, les auteurs constatent une forte teneur en azote minéral et en particulier en nitrates au début du cycle cultural. Cela correspond également à un meilleur niveau de nutrition azotée de la culture. Après cinq ans de jachère, les auteurs observent une très forte minéralisation de l'azote du sol sous *A. polyacantha* ($170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) alors quelle ne dépasse pas quarante kilogrammes par hectare et par an dans les autres jachères. De plus la fixation d'azote a permis une augmentation importante du stock d'azote dans la jachère à *A. polyacantha*, y compris dans la biomasse racinaire. Sans apport d'engrais, les deux premières années de culture montrent un effet supérieur très net du précédent *A. polyacantha* sur le comportement du maïs, avec en première année un triplement des productions obtenues après les autres jachères et en deuxième année un doublement de ces productions. En troisième année de culture, l'arrière-effet de *A. polyacantha* est à peine visible avec néan-

moins un poids de grain par pied nettement supérieur à celui des autres précédents et on observe toujours une meilleure nutrition azotée du maïs (Oliver *et al.*, 1999). Au cours des trois années étudiées, les autres précédents jachère montrent peu ou pas de différence avec la culture continue. Aussi, l'effet supérieur de *A. polyacantha* n'est pas montré par les caractéristiques du complexe absorbant qui ne différaient pas entre les précédents jachères ligneuses après brûlis des résidus d'exploitation et labour du terrain, avant remise en culture (Harmand & Njiti, 1998). Néanmoins, la meilleure nutrition azotée du maïs s'accompagne en général d'une meilleure nutrition calcique, magnésienne et parfois potassique (Oliver *et al.*, 1999). Cela confirme que la disponibilité en azote pour la plante influence le prélèvement des autres éléments minéraux (Roy & Singh, 1995). Pour conclure, le meilleur comportement du maïs après *A. polyacantha* s'explique par la plus grande quantité d'azote, également plus facilement minéralisable, contenue dans les racines et la matière organique du sol (Harmand & Njiti, 1998). Les racines constituent des réserves en éléments minéraux qui peuvent être libérées progressivement au profit des cultures et, dans ce cas, la décomposition de celles-ci, étudiée par la technique des *litterbags* a montré une disparition rapide au cours des deux premières années de culture, sous l'action de la macrofaune du sol (Oliver *et al.*, 1999 ; Harmand *et al.*, 2000). Ces résultats confirment ceux obtenus par Manlay & Masse (1998) pour les racines de *Combretum glutinosum*. La période de disparition des racines pourrait coïncider avec celle des effets les plus favorables de la jachère sur le comportement des cultures, mais des études complémentaires des arrières-effets de la jachère méritent d'être poursuivies en prenant en compte la durée de celle-ci pour préciser cette relation.

Masse *et al.* (2000) observent, comparativement à des jachères naturelles de quatre ans, un doublement du rendement de la culture après la jachère à *A. holosericea* (tabl. IV). Cette augmentation correspond à une forte activité minéralisatrice de l'azote du sol mesurée *in vitro* avant exploitation de *A. holosericea* (Masse, 1998). De même, au Nord de la Côte-d'Ivoire, Louppe *et al.* (1998) indiquent la supériorité de l'espèce fixatrice d'azote dans le comportement du maïs après une jachère de six ans (tabl. IV) : après *A. auriculiformis*, le rendement est le double du précédent *Gmelina arborea* et le triple du précédent *E. camaldulensis*. Ce classement des rendements correspond à celui des teneurs en azote total du sol et à celui des quantités d'azote accumulées dans la biomasse aérienne des jachères (le sol et la biomasse aérienne étant les seuls compartiments ayant fait l'objet de mesures). On observe également sous *A. auriculiformis* une plus forte quantité d'azote minéralisable mesurée *in vitro*. Au Mali, Yossi *et al.* (2000) constatent que la remise en culture de la jachère à *G. sepium* de deux ans a permis de doubler le rendement du maïs par rapport à la jachère herbacée naturelle (tableau IV).

L'influence du brûlis est variable selon les conditions de sol

Lorsqu'on brûle les résidus d'exploitation, on accélère la restitution des éléments minéraux au sol, et par rapport à l'absence de brûlis (mulch), cette technique améliore le rendement des cultures en première année. Sur sol chimiquement appauvri, au Nord de la Côte-d'Ivoire, l'augmentation donnée par Louppe *et al.* (1998) est de soixante-dix pour cent par rapport au mulch (tableau IV). Sur sol fertile, à Oumé, Oliver & Ganry (1994) et Peltier *et al.* (1996) indiquent que le brûlis des résidus d'exploitation améliore le rendement des deux premières cultures de dix à vingt pour cent seulement. Dans cette dernière situation, avec apport d'engrais minéral, il y a compensation de l'absence de brûlis et le mulch donne un aussi bon rendement que le brûlis et ainsi valorise mieux l'apport d'engrais. D'ailleurs, sur le même site, en troisième année, N'Goran *et al.* (1997) indiquent de meilleurs résultats avec le mulch. Par conséquent, sous climat humide et en conditions de sol relativement fertile, il est préférable de maintenir les résidus d'exploitation en l'état pour une libération plus lente des éléments minéraux et une réduction des pertes par érosion et lixiviation.

Tableau IV. Rendement des cultures après jachère en zone soudanienne dans différents pays.

Après deux ans de jachère sous						Lieu et référence
Année Mil épis (t.ha ⁻¹)	<i>Acacia polyacantha</i>	<i>Senna siamea</i>	Jachère herbacée	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Culture Continue	Cameroun (1 100 mm)
2 ^e année	2,64 a	-	1,39 b	1,28 b	0,81 c	Harmand & Njiti (1998)
Après cinq ans de jachère						
Mais grain (t.ha ⁻¹)						
1 ^{re} année	2,43 a	0,82 (hd)	0,65 b	0,59 b	0,43 b	Harmand & Njiti (1998)
2 ^e année	3,97 a	1,69 (hd)	1,8 b	2,07 b	1,31 b	Oliver <i>et al.</i> (1999)
3 ^e année	1,01 a	0,6 a	0,86 a	0,87 a	0,71 a	
Après six ans de jachère sous						
Mais grain (t/ha)	<i>Acacia auriculiformis</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Gmelina arborea</i>	Côte-d'Ivoire (1 300 mm)		
Brûlis	1,74	0,48	0,73	Louppe <i>et al.</i> (1998)		
Mulch	1,05	0,24	0,46			
Après quatre ans de jachère sous						
	<i>Acacia holosericea</i>	Jachère naturelle	Sénégal (700 mm)			
Mil grain (t.ha ⁻¹)	0,84 a	0,42 b	Masse <i>et al.</i> (2000)			
Après deux ans de jachère sous						
	<i>Gliricidia sepium</i>	Jachère naturelle	Mali (1 000 mm)			
Mais grain (t.ha ⁻¹)	2,17 a	0,71 b	Yossi <i>et al.</i> (2000)			

Hd : hors dispositif ; a, b : deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 p. cent.

Concernant les problèmes de nutrition de la culture après jachère, les auteurs notent très souvent l'incapacité des jachères à couvrir les besoins en phosphore en particulier sur les sols déficients en cet élément, mais aussi en potassium. Buresh & Tian (1998) et Niang *et al.* (2000) indiquent que la rentabilité financière de la jachère à *S. sesban* est accrue lorsqu'un apport de phosphore à la culture est réalisé. L'apport d'engrais même azoté permet en général d'améliorer la nutrition de la culture et son niveau de production, parfois de façon importante (Oliver & Ganry, 1994 ; Oliver *et al.*, 1999).

Développement des adventices et des nématodes

À Oumé, en Côte-d'Ivoire, les jachères arborées à acacias australiens n'ont pas permis de diminuer la pression des adventices. En effet, la biomasse de celles-ci est identique sur l'ensemble des parcelles en culture continue et après jachère naturelle et jachère arborée (Gnahoua, 1997). La composition spécifique de la flore adventice a été modifiée sensiblement par le type de précédent et on note en particulier le développement d'espèces nitrophiles telle que *Amarantus viridis* après *Acacia mangium*.

D'après Rao *et al.* (1998), des travaux de l'Icraf ont montré les potentialités de certaines espèces arbustives dans la réduction des populations de striga. Ainsi des jachères à *S. sesban* de 1,5 et 2 ans ont limité le développement du striga dans la culture de maïs suivante (*Striga*

asiatica en Zambie et *S. hermonthica* dans l'Ouest du Kenya). Cette réduction de l'infestation serait liée à l'amélioration de la fertilité chimique du sol.

Les *A. mangium*, *A. auriculiformis* et *A. farnesiana* sont sujets aux attaques du nématode méloïdogyne qui provoque des galles sur les racines, alors que *Chromoloena odorata*, espèce indicatrice de sol riche, présente l'avantage de ne pas héberger les nématodes helicotylendus et méloïdogyne, parasites majeurs des cultures vivrières (Adiko & Gnonhouiri, 1997).

Place de la jachère agroforestière dans les systèmes de production

Aspects techniques

Mode d'installation de la jachère

Comme l'ont recommandé Peltier & Eyog Matig (1988), la meilleure façon d'installer une jachère arborée est de planter, ou éventuellement de semer, les espèces ligneuses dans la culture selon le système *taungya* ⁽³⁾. En zone soudanienne ou soudano-sahélienne, lorsque les arbres sont plantés à écartement de quatre mètres sur quatre (625 pieds.ha⁻¹), la culture intercalaire est réalisable pendant deux ou trois ans avant de subir une forte baisse de rendement due à la concurrence des ligneux.

Dans le cas des jachères arbustives, la densité de plantation peut être très élevée (25 000 pieds.ha⁻¹) et par conséquent l'utilisation de plants en pots augmente considérablement le coût d'installation et limite les possibilités d'extension de ce type de jachère. L'installation la moins onéreuse consiste à recourir au semis direct et cette technique a été utilisée avec succès pour *Cajanus cajan*, *Tephrosia vogelii* et *Crotalaria spp.* en zone sub-humide au Kenya (Place & Franzel, 2000). Le semis direct de *Sesbania sesban* pratiqué simultanément avec celui du maïs est présenté par Niang *et al.* (2000) comme la technique d'installation de la jachère la plus rentable, car contrairement à l'utilisation de plants, le développement de l'arbuste relativement lent ne concurrence pas la culture et permet tout de même une amélioration significative du rendement de la culture après jachère. Néanmoins le semis direct de *S. sesban* reste aléatoire (Place & Franzel, 2000) et un compromis serait l'utilisation de plants à racines nues que l'on installe dans la culture de maïs après le premier sarclage (système testé en Zambie). Enfin, ce type de plants est sensible au transport, d'où la nécessité de réaliser les pépinières au voisinage des lieux de plantation.

Exploitation de la jachère

Comme il a été mentionné plus haut, les niveaux de restitution des éléments minéraux au sol par les cendres ou la décomposition des résidus sont fortement dépendants du mode d'exploitation de la biomasse. Très souvent, dans les exploitations agricoles, toutes les écorces et toutes les branches de diamètre supérieur à un centimètre et même plus fines sont exportées des parcelles, ce qui réduit le niveau des restitutions.

Concernant la gestion des ligneux après exploitation de la jachère, il est possible de conserver les souches des arbres dans la culture et de favoriser à nouveau leur démarrage après quelques années de culture. Un système de ce type utilisant *L. leucocephala* et *A. polyacantha* a été testé en milieu paysan en Tanzanie (Young, 1997). La durée de jachère varie de trois à cinq ans pour une durée de culture équivalente. Dans cette rotation agroforestière, quelques arbres peuvent être maintenus intégralement pendant la phase de culture pour fournir de l'ombre et de l'azote.

(3) Système Taungya : Il s'agit d'utiliser une culture vivrière comme technique d'entretien des arbres pendant les premières années après plantation.

Aspects socio-économiques (statut foncier de la jachère, valorisation des produits)

Place & Franzel (2000) ont étudié la faisabilité technique, la rentabilité économique et les facteurs d'adoption de différents types de jachère améliorée : *C. cajan* et *Calliandra calothyrsus* en zone forestière du Cameroun, *Crotalaria spp.*, *Tephrosia spp.* et *S. sesban* au Kenya et en Zambie. Les techniques d'installation des jachères sont réalisables par les paysans et la rentabilité des jachères a été montrée par un calcul économique prenant en compte les gains de rendement des cultures après jachère, le coût d'installation et d'entretien de la phase de jachère et les pertes de production agricole au cours de cette période. La jachère à *S. sesban* a été installée et testée par mille fermiers. Si, pour les auteurs, il est encore trop tôt pour juger de l'acceptation de la technique par les paysans, il apparaît, au Kenya et en Zambie, qu'elle est mise en œuvre plus facilement chez les agriculteurs les moins démunis qui disposent d'une certaine capacité d'investissement. Elle est moins bien perçue au Cameroun où la baisse de fertilité n'est pas encore considérée comme un réel problème et où l'accès à la terre reste facile.

Même si du point de vue agronomique, les jachères semblent prometteuses, il existe des contraintes importantes qui supposent des mesures incitatives pour favoriser leur adoption. En zone soudanienne, deux facteurs limitent la diffusion des jachères arbustives et herbacées de courte durée à base de légumineuses :

- la libre circulation du bétail dans les champs cultivés en saison sèche entraîne la consommation de la biomasse des légumineuses généralement bien appréciée ;
- l'installation de ces jachères exige une grande quantité de semences dont la production n'est pas facile à organiser.

La jachère arborée est moins gênée par ces contraintes dans la mesure où les problèmes d'abrutissement par le bétail se posent uniquement quand les arbres sont jeunes, c'est-à-dire en première année, voire en deuxième année, et avec des différences entre les espèces liées à leur appétibilité. Une contrainte importante de ce type de jachère est sa durée (4 à 6 ans) pas toujours acceptable dans les systèmes de production actuels.

Kass *et al.* (1993) mentionnent que les raisons de l'adoption de pratiques de jachère améliorée sont davantage économiques qu'écologiques et cela suppose de se préoccuper des productions directes de la jachère en pensant en particulier à des produits à forte valeur marchande. L'obtention d'un revenu annuel substantiel à partir de la jachère peut justifier l'augmentation de sa durée et améliorer ainsi son potentiel de restauration de la fertilité. Sous réserve d'un effet favorable sur la restauration de la fertilité du sol et d'un débouché pour la noix de cajou, la plantation d'anacardiens peut constituer une bonne jachère arborée. Au Cameroun, Harmand *et al.* (1998) ont montré que *Acacia senegal*, espèce d'origine sahélienne, se montre bien adaptée à toutes les situations pédo-climatiques de la zone soudanienne de six cents à mille deux cents millimètres de pluviométrie annuelle. Cette espèce fixatrice d'azote améliore les teneurs en carbone et en azote du sol (Hussein, 1990) et représente un enjeu économique pouvant motiver sa plantation en milieu rural. Lorsque l'arbre est installé sur des sols sans réserves hydriques en saison sèche, il fournit, dès l'âge de quatre ans, une gomme arabique de bonne qualité en quantité intéressante. Les études de saignée des gommiers réalisées par Harmand *et al.* (1998), au Nord du Cameroun, durant six années, montrent qu'on peut espérer, à partir de la quatrième année, une production de gomme variant de cinquante à deux cent cinquante kilogrammes par hectare et par an, avec une moyenne annuelle de cent dix kilogrammes par hectare entre les isohyètes six cents et neuf cents millimètres. À raison d'un prix de vente minimal de la gomme arabique de quatre cents francs C.F.A. le kilogramme, en dix ans de production, la plantation peut procurer au paysan un revenu de quatre cent quarante mille francs C.F.A. auquel il faut retirer les coûts de plantation et d'entretien qui s'élèvent entre cent et cent cinquante mille francs C.F.A. par hectare. Cette pratique a été vulgarisée récemment en zone soudanienne du Cameroun et au

cours des années 1996 et 1997, soixante-dix hectares de plantations de *A. senegal* ont été réalisés par les paysans sous forme de petites parcelles de taille inférieure à un hectare (Mathieu *et al.*, 1998). Enfin, l'exploitation annuelle de la gomme arabique représente une quantité dérisoire d'éléments minéraux par rapport aux réserves du sol. Par conséquent, cette production peu exportatrice, ne gêne pas le boisement dans son rôle agro-écologique de restauration de la fertilité du sol. Sous réserve de l'existence de garantie d'achat de la gomme, la plantation de gommiers représente pour l'agriculteur une possibilité de diversifier ses productions, une source de revenus sans risques et un capital « fertilité » épargné.

Pour la zone forestière en Côte-d'Ivoire, Peltier *et al.* (1996) ont mentionné que la vente du bois de *A. auriculiformis* (100 t produites en 6 ans) en charbon peut rapporter cent mille francs C.F.A. par hectare au paysan et cette somme peut servir en partie pour acheter des engrais et ainsi soutenir ou améliorer la production du système de culture.

Conclusion

Sur les sols chimiquement appauvris et en particulier déficients en azote, de toutes les espèces ligneuses, apparemment seules les légumineuses fixatrices d'azote ont montré, à court et moyen terme (2 à 7 ans), des effets bénéfiques importants sur la fertilité des sols et le rendement des cultures suivantes. Les arbres ont permis d'accroître le bilan azoté de la jachère en fixant l'azote de l'air et en récupérant les nitrates des horizons profonds du sol. La qualité et la quantité de la matière organique produite ont influencé la disponibilité en azote du sol et le rendement des cultures. Le prélèvement des éléments minéraux en profondeur, leur accumulation dans la biomasse et leur recyclage a permis au moment de la remise en culture une redistribution de ces éléments dans la partie supérieure du profil cultural. Ainsi le brûlis des résidus d'exploitation ou la simple décomposition de la matière organique, (résidus, racines de la jachère et MOS) ont permis d'augmenter la disponibilité en éléments minéraux du sol par rapport à la jachère herbacée.

Si dans les sols chimiquement appauvris, l'augmentation de la disponibilité en azote et en autres éléments minéraux semble être le facteur déterminant de l'amélioration de la fertilité, les changements des caractéristiques physiques du sol et de l'activité de la macrofaune sont moins marqués et apparaissent comme secondaires au moins jusqu'à quatre à cinq ans de jachère. Ce propos mérite néanmoins d'être nuancé, car en zone soudanienne, l'activité des termites s'est montrée capitale dans la décomposition des systèmes racinaires au moment de la remise en culture. D'autre part, ces facteurs peuvent devenir essentiels dans le cas des sols dont la structure est dégradée.

Sur les sols naturellement fertiles mais appauvris chimiquement, des jachères de courte durée (1 à 2 ans) permettent de retrouver des niveaux de rendement du maïs relativement importants ($3 \text{ à } 4 \text{ t.ha}^{-1}$) et les effets résiduels de la jachère peuvent durer pendant quatre ans. En revanche, sur les sols peu fertiles naturellement, le développement des plantes de la jachère et le niveau des restitutions organiques sont limités, ce qui ralentit les processus de restauration de la fertilité et dans ce cas la durée de la jachère doit être allongée pour augmenter son efficacité.

Concernant les critères de sélection des espèces ligneuses, dans un contexte de forte exploitation de la biomasse aérienne et de systèmes de culture à faibles intrants, l'immobilisation de l'azote et des éléments minéraux dans la biomasse racinaire et l'amélioration des propriétés chimiques du sol au cours de la phase de jachère sont des processus majeurs à prendre en compte pour une bonne efficacité agronomique de la jachère. Ainsi, les espèces ligneuses présentant une aptitude à fixer l'azote, une croissance rapide, un développement racinaire en profondeur, une forte biomasse de racines fines, une litière ayant des caractéris-

tiques de décomposition rapide sont utilisables en jachère de courte ou moyenne durée. Néanmoins, la fourniture de produits à bonne valeur commerciale constitue une condition indispensable du développement de ce type de jachère. De plus, l'obtention d'un revenu annuel substantiel à partir de la jachère peut justifier l'augmentation de sa durée et améliorer ainsi son potentiel de restauration de la fertilité du sol.

Du point de vue du bilan minéral du système, dans les climats semi-arides, il a été montré que les arbres utilisés en jachère étaient susceptibles de remonter des éléments minéraux des horizons profonds du sol, en particulier ceux ayant pu être lessivés pendant la période culturale. Dans les climats humides, où les processus de lixiviation sont plus accentués, il n'est pas certain que les éléments minéraux lessivés en profondeur puissent être récupérés par les arbres de la jachère. Alors, plutôt qu'un système de culture fondé sur l'alternance culture-jachère forestière, une association agroforestière permanente permettrait peut-être, par un recyclage plus court des éléments minéraux, une meilleure conservation de ceux-ci et une meilleure production du système mais cela reste à évaluer.

Dans le même sens, bien que nous ayons maintenant une assez bonne compréhension du système fondé sur l'alternance jachère arborée-culture, un système agroforestier plus complexe combinant jachère et parc arboré est certainement plus approprié en zone soudanienne, en particulier lorsque la densité de population est relativement élevée. Ainsi, la jachère ligneuse améliorée peut être utilisée comme une technique agroforestière de réhabilitation de sol, à laquelle on ferait succéder un système de culture conservateur de la fertilité du sol de type agriculture sous parc arboré (Young, 1995). Les arbres de la jachère pourraient constituer en partie le parc arboré, et la litière de la jachère servirait, dans un premier temps, de couverture végétale pour protéger le sol. Néanmoins, ces techniques doivent être adaptées en fonction des situations dans le cadre d'une démarche de recherche participative.

Les jachères agroforestières ont fait l'objet d'études écologiques mais de peu de travaux en recherche-développement, hormis le cas des jachères arbustives, en Afrique australe et en Afrique de l'Est, étudié par l'Icraf. Les premiers travaux font apparaître les contraintes à l'adoption de telles pratiques comme le mode d'utilisation des terres et la capacité d'investissement des agriculteurs. Les études soulignent aussi la nécessité de prendre des mesures incitatives pour favoriser le développement de ces jachères : selon les situations, cela peut concerner le système foncier, le soutien à des filières concernant les produits des arbres, l'organisation de systèmes de production de semences ou de plants.

Remerciements

Les auteurs remercient France Bernhard-Reversat et Roger Pontanier pour leurs commentaires sur la version initiale du document ainsi que Daniel-Yves Alexandre et Charles Masson pour leur relecture attentive du document final.

Références

- Abbadie L. & Lepage M. (1989). « The role of subterranean fungus comb chambers (Isoptera, Macrotermitinae) in soil nitrogen cycling in a preforest savanna (Côte-d'Ivoire) », *Soil Biol. Biochem.*, n° 21 : pp. 1067-1071.
- Adejuwon J.O. & Adesina F.A. (1990). « Organic matter and nutrient status of soils under cultivated fallows : an example of *Gliricidia sepium* fallows from South Western Nigeria », *Agroforestry Systems*, n° 10 : pp. 23-32.
- Adiko A. & Ngonhou Ph. (1997). « Incidences des jachères à légumineuses pérennes sur la nématofaune dans le centre-Ouest de Côte-d'Ivoire », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 119-127.

- Balle P. (1996). « La problématique de la production globale dans la gestion des jachères : Cas de la zone des forêts humides », in Floret (éd., 1996) : pp. 49-53.
- Barrios E., Buresh R.J. & Sprent J.I. (1996). « Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems », *Soil Biology and Biochemistry*, n° 28 : pp. 1459-1465.
- Barrios E., Kwesiga F., Buresh R.J. & Sprent J.I. (1997). « Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize », *Soil Science Society of America Journal*, n° 61 : pp. 826-831.
- Belsky A.J., Amundson R.G., Duxbury J.M., Riha S.J., Ali A.R. & Mwonga S.M. (1989). « The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya », *Journal of Applied Ecology*, n° 26 : pp. 1005-1024.
- Bernhard-Reversat F. (1970). « Étude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte-d'Ivoire », *Oecol. Plant.*, n° 5 : pp. 247-266.
- Bernhard-Reversat F. (1982). « Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna », *Oikos*, n° 32 : pp. 321-332.
- Bernhard-Reversat F. (1987-a). « Litter incorporation to soil organic matter in natural and planted tree stands in Sénégal », *Pedobiologia*, n° 30 : pp. 401-417.
- Bernhard-Reversat F. (1987-b). « Les cycles des éléments minéraux dans un peuplement à *Acacia seyal* et leur modification en plantation d'*Eucalyptus* au Sénégal », *Acta Œcol., Œcol. Gener.*, vol. VIII, n° 1 : pp. 3-16.
- Bernhard-Reversat F. (1988). « Soil Nitrogen Mineralization under a *Eucalyptus* Plantation and a Natural *Acacia* Forest in Sénégal », *Forest Ecology and Management*, n° 23 : pp. 233-244.
- Bernhard-Reversat F. (1991). « Evolution of the soil litter interface under *Eucalyptus* plantation on sandy soil in Congo », *Acta Œcologica*, vol. XII, n° 6 : pp. 825-828.
- Bernhard-Reversat F. (1993). « Dynamics of litter and organic matter at the soil-litter interface in fast-growing tree plantations on sandy ferallitic soils (Congo) », *Acta Œcologica*, vol. XIV, n° 2 : pp. 179-195.
- Bernhard-Reversat F. (1996). « Nitrogen cycling in tree plantations grown on a poor sandy savanna soil in Congo », *Applied Soil Ecology*, n° 4 : pp. 161-172.
- Bernhard-Reversat F., Diangana D. & Tsatsa M. (1993). « Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et *A. auriculiformis* au Congo », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 238 : pp. 35-44.
- Bernhard-Reversat F., Harmand J.-M. & Uguen K. (1998). « Les litières et la dynamique de l'azote dans divers biotopes à *Acacia* d'Afrique Occidentale et Centrale », in Campa *et al.* (éd., 1998) : pp. 205-220.
- Buresh R.J. & Tian G. (1998). « Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa », *Agroforestry Systems*, n° 38 : pp. 51-76.
- Buresh R.J. & Cooper P. (éd.) (1999). *The Science and Practice of Short-term Improved Fallows*, Agroforestry Systems (special issue), sous presse.
- Campa C., Grignon C., Gueye M. & Hamon S. (éd.) (1998). *L'acacia au Sénégal*, réunion Orstom-Isra, Dakar, 3-5 déc. 1996, Paris, Orstom, 476 p.
- Campbell B.M., Frost P., King J.A., Mawanza M. & Mhlanga L. (1994). « The influence of trees on soil fertility on two contrasting semi-arid soil types at Matopos, Zimbabwe », *Agroforestry Systems*, n° 28 : pp. 159-172.
- Cesar J. (1992). *La production biologique des savanes de Côte-d'Ivoire et son utilisation par l'homme. Biomasse, valeur pastorale et production fourragère*, Cirad-I.E.M.V.T., France, Maison Alfort, 671 p.
- Chijicke E.O. (1980). « Impact on soils of fast-growing species in lowland humid tropics », *F.A.O. For. Pap.*, n° 21, 30 p.
- Cooper P. & Buresh R.J. (éd.) (1997). International Symposium on : *The Science and Practice of Short-term Improved Fallows*, 11-15 mars 1997, Lilongwe, Malawi, IUFRO, ISSS, ICRAF, 77 p.
- Diedhiou I., Diatta M. & Diouf M. (2000). « Influence de la densité de plantation de deux acacias sur l'alimentation hydrique du sorgho (*Sorghum bicolor* L.) en zone semi-aride du Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 648-655.
- Drechsel P., Steiner K.G. & Hagedorn F. (1996). « A review on the potential of green fallows in Rwanda », *Agroforestry Systems*, n° 33 : pp. 109-136.
- Dugué P. & Dounias I. (1995). « Intensification, choix techniques et stratégies paysannes en zone cotonnière du Cameroun », in Griffon (éd., 1995) : pp. 93-106.

- Dugue P. (1998). « Gestion de la fertilité et stratégies paysannes. Le cas des zones de savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre », *Agriculture et Développement, Spécial sols tropicaux*, n° 18 : pp. 13-20.
- Dupuy B. & N'Guessan K. (1990). « Sylviculture de l'*Acacia mangium* en Basse Côte-d'Ivoire », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 25 : pp. 24-32.
- Feller C. (1995). *La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique*, doct. d'État, univers. Louis-Pasteur, Strasbourg (France), Orstom, 393 p. + annexes.
- 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. 14-32.
- Floret Chr., éd. (1996). *La jachère, lieu de production*, Actes de l'atelier, Bobo Dioulasso, 2-4 oct. 1996, Dakar, C.N.R.S.T. (Burkina Faso)-Orstom, 144 p.
- Floret Chr., éd. (1998). Raccourcissement du temps de jachère, Biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali), Rapport scientifique 1996, Dakar, C.C.E., 245 p.
- Floret Chr. & Serpantié G. (éd.) (1993). *La jachère en Afrique de l'Ouest*, Atelier international, Montpellier (France), 02-05 déc. 1991, Paris, Orstom, 494 p.
- Floret Chr. & Pontanier R. (éd.) (1997). *Jachère et maintien de la fertilité*, Atelier, Bamako, 2-4 octobre 1997, Coordination régionale du Projet jachère, Dakar, Coraf, Union Européenne, 145 p.
- Floret Chr. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances*, Paris, John Libbey, 000 p. & 000 p.
- Floret Chr., Pontanier R. & Serpantié G. (1993). *La jachère en Afrique tropicale*. Mab Digests 16, Paris, Unesco, 86 p.
- Franzel S. (1999). « Socioeconomic factors affecting the adoption of improved tree fallows », in Buresh & Cooper (éd., 1999) : pp. 000-000.
- Ghabbour S.I. & Davis R.C. (éd.) (1988). *Proceedings of the Seminar on Resources of Soil Fauna in Egypt and Africa*, Cairo, 16-17 avr. 1986, *Rev. Zool. Afr.-J. Afr. Zool.*, n° 102.
- Gichuru M.P. (1991). « Residual effects of natural bush, *Cajanus cajan* and *Tephrosia candida* on the productivity of an acid soil in southeastern Nigeria », *Plant and Soil*, n° 134 : pp. 31-36.
- Gnahoua G.M. (1997). « Étude de la flore adventice des cultures après jachère améliorée dans la région d'Oumé (Côte-d'Ivoire) », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 107-118.
- Griffon M. (éd.) (1995). *Succès et limites des révolutions vertes*, Montpellier, Cirad, séminaire, 6 sept. 1995, 182 p.
- Harmand J.-M. (1998). *Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux*, th. doct., univers. Paris-VI, 6 oct. 1997, Cirad-forêt, 213 p.
- Harmand J.-M. & Njiti C.F. (1998). « Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière », *Agriculture et Développement, Spécial sols tropicaux*, n° 18 : pp. 21-30.
- Harmand J.-M., Njiti C.F. & Ntoupka M. (1997). « Gestion de l'arbre et des formations naturelles de savane en zone soudanienne », in Sciny Boukar *et al.* (éd., 1997) : pp. 71-87.
- Harmand J.-M., Mathieu B., Njiti C.F. & Ntoupka M. (1998). *Recherche sur les possibilités de production de gomme par *Acacia senegal* dans différentes situations pédoclimatiques du Nord-Cameroun*, convention IRAD-P.D.E.A., Institut de la recherche agronomique pour le développement, Yaoundé (Cameroun), 25 p.
- Harmand J.-M., Njiti C.F., Bernhard-Reversat F., Feller C. & Oliver R. (2000). « Variations de stocks de carbone dans le sol au cours du cycle jachère arborée – culture (zone soudanienne du Cameroun) », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 706-712.
- Hien V., Billaz R., Sègda Z. & Traore K. (2001). « Systèmes de culture permanente à jachère courte », in Floret & Pontanier (éd., 2001) : vol. II, pp. 241-264.
- Hussein S.E.G. (1990). « The influence of fallow under *Acacia senegal* (L.) Willd. on the C and N content of the soil », *Beitrag zur Tropischen Landwirtschaft und Veterinarmedizin*, vol. XXVIII, n° 2 : pp. 217-222.
- Isichei O.A. & Muoghalu I.J. (1992). « The effects of tree canopy cover on soil fertility in a Nigerian savanna », *Journal of Tropical Ecology*, n° 8 : pp. 329-338.

- Jonsson K., Stahl L. & Högberg P. (1996). «Tree fallows : a comparison between five tropical tree species», *Biology and Fertility of Soils*, n° 23 : pp. 50-56.
- Kass D.L., Foletti C., Szott L.T., Landaverde R. & Nolasco R. (1993). «Traditionnal fallow systems of the Americas», *Agroforestry systems*, vol. XXIII, n° 2-3 : pp. 207-218.
- Kessler J.J. & Breman H. (1991). «The potential of agroforestry to increase primary production in the sahelian and soudanian zones of West Africa», *Agroforestry Systems*, n° 13 : pp. 41-62.
- King J.A. & Campbell B.M. (1994). «Soil organic matter relations in five land cover types in the miombo region (Zimbabwe)», *Forest Ecology and Management*, vol. LXVII, n° 1-3 : pp. 225-239.
- Kumar Rao J.V.D.K., Dart P.J. & Sastry P.V.S.S. (1983). «Residual effect of pigeonpea (*Cajanus cajan*) on yield and nitrogen response of maize», *Experimental Agriculture*, n° 19 : pp. 131-141.
- Kwesiga F., Franzel S., Place F., Phiri D. & Simwanza C.P. (1999). «*Sesbania sesban* improved fallows in eastern Zambia : their inception, development and farmer enthusiasm», in Buresh & Cooper (éd., 1999) : pp. 000-000.
- Laclau J.P. (1997). *Dynamique d'incorporation des éléments minéraux majeurs (N, P, K, Ca, Mg) dans une futaie d'Eucalyptus au Congo*, D.E.A., biologie diversité et adaptation des plantes cultivées, INA Paris-Grignon, France, Cirad-Forêt, 25 p. + annexes.
- Laclau J.-P., Bouillet J.-P. & Ranger J. «Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalypts in Congo», *Forest Ecology and Management*, (à paraître).
- Lavelle P. (1988). «Assessing the abundance and role of invertebrate communities in tropical soils : Aims and methods», in Ghabbour & Davis (éd., 1988) : pp. 275-283.
- Loubelo E. (1990). *Étude comparative de quelques éléments du fonctionnement de deux peuplements d'Eucalyptus au Congo*, th. doct., univers. Rennes-I (France), 135 p.
- Loupe D., Ouattara N. & Olivier R. (1998). «Maintien de la fertilité dans trois jachères arborées. Bilan minéral (Korhogo, nord Côte-d'Ivoire)», *Agriculture et Développement, Spécial sols tropicaux*, n° 18 : pp. 47-54.
- Maghembe J.A., Chirwa P.W. & Kooi G. (1997). «Relay cropping of *Sesbania sesban* with maize in Southern Malawi», in Cooper & Buresh (éd., 1997), p. 18.
- 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.
- Maroko J.B., Buresh R.J. & Smithson P.C. (1998). «Soil nitrogen availability as affected by fallow-maize systems on two soils in Kenya», *Biol. Fertil. Soils*, n° 26 : pp. 229-234.
- Masse D. (1998). «Rôle de groupes fonctionnels dans la dynamique générale des jachères courtes», in Floret (éd., 1998) : pp. 163-201.
- Masse D., Cadet J., Chotte J.-L., Diatta N., Floret Chr., N'diaye-Faye N., Pate E., Pontanier R., Thioulouse J. & Villenave C. (1998). «Jachères naturelles et restauration des propriétés des sols en zone semi-aride : Cas du Sénégal», *Agriculture et Développement*, n° 18 : pp. 31-38.
- Masse D., Da Conceicao Silva K., Diatta M. & Madinan I. (2000). «Végétation des jachères de courte durée et rendement du mil après défriche au Sénégal», in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 127-134.
- Mathieu B., Harmand J.-M. & Bossu I. (1998). *Étude de la dynamique du Prosopis africana dans les jachères (village de Holom en pays Musey) – Gestion et densification des parcs à Faidherbia albida dans l'Extrême-Nord – Production de gomme arabique au Nord-Cameroun – Appui au Programme de plantations forestières*, Convention D.P.G.T.-Irada, IRAD, Maroua – Cameroun, 55 p. + annexes.
- Mbougou-Kimbatsa I.M.C., Bernhard-Reversat F. & Loumeto J.J. (1998). «Change in soil macrofauna and vegetation when fast-growing trees are planted on savanna soils», *Forest Ecology and Management*, n° 110 : pp. 1-12.
- Mekonnen K., Buresh R.J. & Jama B. (1997). «Root and inorganic nitrogen distributions in sesbania fallow, natural fallow and maize fields», *Plant and Soil*, n° 188 : pp. 319-327.
- Millet J. (1994). *Bilan hydrique d'une jachère arborée en zone soudanienne du Cameroun*, D.E.A. écosystèmes continentaux arides, méditerranéens et montagnards, univers. Saint-Jérôme, Marseille (France), 30 p.
- Mordelet P., Abbadie L. & Menaut J.-C. (1993). «Effects of tree clumps on soil characteristics in a humid savanna of West Africa (Lamto, Cote-d'Ivoire)», *Plant and Soil*, n° 153 : pp. 103-111.
- 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.

- Muoghalu J.I., Akanni S.O. & Eretan O.O. (1993). « Litterfall and nutrient dynamics in a Nigerian rain forest seven years after a ground fire », *Journal of Vegetation Science*, n° 4 : pp. 323-328.
- N'Goran A., Gnahoua G. M., Oualou K. & Balle P. (1997). « Évolution de la fertilité d'un sol cultivé pendant quatre ans suite à une jachère arborée de 6 ans : Cas d'une zone de forêt humide de Côte-d'Ivoire », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 101-106.
- Ndene S., Masse D. & Floret Chr. (1996). « Étude expérimentale sur l'importance de divers groupes fonctionnels sur le fonctionnement de l'écosystème jachère. Modification du fonctionnement hydrique des sols », in Floret (éd., 1998) : pp. 53-56.
- Niang A., De Wolf J., Gathumbi S. & Amadalo B. (2000). « The potential of short duration improved fallows with selected trees and shrubs for crop productivity enhancement in the densely populated highlands of Western Kenya », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 688-697.
- Njoukam R. (1995). *Contribution à l'étude des interactions « essences forestières à croissance rapide et sols des savanes tropicales humides » : Cas de la réserve forestière de Mélap (Foumban) au Cameroun*, th. doct., Faculté des sciences agronomiques de Gembloux (Belgique), 215 p.
- Njoukam R., Bock L., Hebert J., Mathieu L., Oliver R. & Peltier R. (1996). « Ligniculture et maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest-Cameroun », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 249 : pp. 33-49.
- Ohta S. (1990). « Initial soil changes associated with afforestation with *Acacia auriculiformis* and *Pinus kesiya* on Denuded Grasslands of the Pantabagan Area, Central Luzon, the Philippines », *Soil Sci. Plant. Nutr.*, vol. XXXVI, n° 4 : pp. 633-643.
- Oliver R. & Ganry F. (1994). *Étude des modifications de fertilité induites par une jachère arborée : Cas de la zone forestière de Centre Côte-d'Ivoire*, Montpellier, Cirad (France), 27 p.
- Oliver R., Harmand J.-M. & Njiti C. (1999). *Analyse de la fertilité acquise suite à des jachères de courte durée au Nord-Cameroun*, Rapport AII Biologie des sols, Montpellier, Cirad, 18 p.
- Onim J.F.M., Mathuva M., Otieno K. & Fitzhugh H.A. (1990). « Soil fertility changes and response of maize and beans to green manures of leucaena, sesbania and pigeonpea », *Agroforestry Systems*, n° 12 : pp. 197-215.
- Oualou K. (1997). *Gestion de l'arbre dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers en base Côte-d'Ivoire : une étude expérimentale dans la zone d'Oumé*, mém. fin d'études, Faculté universitaire de Gembloux (Belgique), 64 p.
- Ouattara N., Louppe D. & Balle P. (1997). « Rôle des macro-invertébrés dans la restauration de la fertilité en zone de savane soudano-guinéenne : Cas particulier des vers de terre et des termites », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 61-68.
- Peltier R. & Eyog Matig O. (1988). « Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 217 : pp. 3-31.
- Peltier R., Balle P., Galiana A., Gnahoua G.M., Leduc B., Mallet B., Oliver R., Oualou K. & Schroth G. (1996). « Produire du bois énergie dans les jachères de zone guinéenne. Intérêts et limites à travers l'expérience d'Oumé en Basse Côte-d'Ivoire », Actes du séminaire *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides*, novembre 1995, Montpellier, Cirad (France) : pp. 219-227.
- Place F. & Franzel S. (2000). « Tree fallows on farms in Africa : socio-economic evaluation and strategies to promote adoption », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 698-705.
- Pochon J., De Barjac H. & Faivre-Amiot (1959). « L'influence de plantations d'eucalyptus au Maroc sur la microflore et l'humus du sol », *Annales de l'Institut Pasteur*, vol. XCVII, n° 3 : pp. 403-406.
- Polglase P.J., Attiwill P.M. & Adams M.A. (1992). « Nitrogen and phosphorus cycling in relation to stand age of *Eucalyptus regnans* (F. Muell.). II. N mineralization and nitrification », *Plant and Soil*, n° 142 : pp. 167-176.
- Prasad U.K., Muniappan R., Ferrar P., Aeschilman J.P. & de Foresta H. (éd.) (1996). *Distribution, Ecology and Management of Chromolaena odorata*, Publication n° 202, University of Guam, Mangilao, Guam (É.-U.A.).
- Prinz (1986). « Increasing the productivity of smallholder farming systems by introduction of planted fallows », *Plant Research and Development*, n° 24 : pp. 31-56.
- Rao M.R., Nair P.K.R. & Ong C.K. (1998). « Biophysical interactions in tropical agroforestry systems », *Agroforestry Systems*, n° 38 : pp. 3-50.
- Roy S. & Singh J.S. (1995). « Seasonal and spatial dynamics of plant-available N and P pools and N-mineralization in relation to fine roots in a dry tropical forest habitat », *Soil Biol. Biochem.*, vol. XXVII, n° 1 : pp. 33-40.

- Schroth G. (1995). « Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry », *Agroforestry Systems*, n° 30 : pp. 125-143.
- Schroth G., Kolbe D., Pity B. & Zech W. (1995). « Searching for criteria for the selection of efficient tree species for fallow improvement, with special reference to carbon and nitrogen », *Fertilizer Research*, n° 42 : pp. 297-314.
- Seiny Boukar L., Poulain J.-F. & Faure G. (éd.) (1997). *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun : Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale*, Actes de l'atelier d'échange, Garoua (Cameroun), 25-29 nov. 1996, Cirad-CA., Montpellier (France), Cirad.
- Slaats J.J.P. (1996). « The use of *Chromolaena* as fallow in a semi-permanent system in South West Côte-d'Ivoire », in Prasad *et al.* (éd.), 1996 : pp. 68-75.
- Szott L.T. & Palm C.A. (1996). « Nutrient stocks in managed and natural humid tropical fallows », *Plant and Soil*, n° 186 : pp. 293-309.
- Szott L.T., Palm C.A. & Buresh R.J. (1999). « Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics », in Buresh & Cooper (éd.), 1999.
- Tian G. (1998). « Effect of soil degradation on leaf decomposition and nutrient release under humid tropical conditions », *Soil Science*, vol. CLXIII, n° 11 : pp. 897-906.
- Toky O.P. & Singh V. (1993). « Litter dynamics in short-rotation high density tree plantations in an arid region of India », *Agriculture, Ecosystems and Environnement*, n° 45 : pp. 129-145.
- Torquebiau E.F. & Kwesiga F. (1996). « Root development in *Sesbania sesban* fallow maize system in eastern zambia », *Agroforestry systems*, n° 34 : pp. 193-211.
- Uguen K. (1996). *Effet de litière d'espèces ligneuses naturelles et introduites de jachère sur la disponibilité de l'azote du sol pour les plantes*, D.E.A. d'écologie générale, univers. Paris-VI, univers. Paris-XI, I.N.A., Paris-Grignon (France), 27 p. + annexes.
- Van Noordwijk M., Widiyanto M., Heinen M. & Hairiah K. (1991). « Old tree roots channels in acid soils in the humid tropics : important for crop root penetration, water infiltration and nitrogen management », *Plant and Soil*, n° 134 : pp. 37-44.
- Yossi H., Kaya B. & Sanogo M. (2000). « La jachère améliorée au Mali méridional : influence sur la production fourragère, la fertilité du sol et la production du maïs », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 569-576.
- Young A. (1995). « L'agroforesterie, une solution viable pour la conservation des sols », *Agriculture + développement rural*, vol. II, n° 1 : pp. 46-50.
- Young A. (1997). *Agroforestry for soil management*, 2^e éd., ICRAF, Nairobi, CAB I. Wallingford, UK, 320 p.

Les haies vives défensives en zones sèche et subhumide d'Afrique de l'Ouest

Dominique Louppe*, Harouna Yossi**

L'agriculture africaine fondée sur les cultures itinérantes sur brûlis séparées par de longues périodes de jachères (Floret *et al.*, 1993) est un système qui nécessite beaucoup d'espace. La jachère longue disparaît au profit de jachères courtes s'il est impossible de mettre au moins cinquante pour cent des terres cultivables au repos. C'est le cas de la majorité des finages des zones sahéliennes et soudaniennes où il est urgent d'aménager et de structurer l'espace (Ouattara & Louppe, 1998), pour en permettre une gestion rationnelle, garante de la durabilité des diverses productions primaires nécessaires au bien-être des populations.

Aménager l'espace est plus aisé si l'on installe des limites physiques, visibles et acceptées, qui structurent le paysage (Louppe, 1991-b) et qui matérialisent des sous-ensembles homogènes. C'est pourquoi la haie vive a déjà été largement testée dans le monde rural par la recherche-développement, bien que, pour Kaya *et al.* (1994), le savoir paysan en matière de haies précédait la recherche et qu'il faut amener le chercheur à l'école du paysan. Dans ces conditions, pourquoi les haies n'ont-elles pas eu l'extension qu'elles méritaient ?

Qu'appelle-t-on haies vives ? D'aucuns regroupent sous cette appellation toutes les structures boisées linéaires depuis les plantations linéaires denses, étroites et basses à usage de protection, jusqu'aux bandes arborées larges à usages multiples.

Notre définition se limitera aux structures linéaires étroites installées dans un but défensif. Les ligneux y sont plantés serrés pour avoir un effet de barrière sur les bovins et, si possible, sur les petits ruminants. La traduction anglaise généralement acceptée est *live-fence* bien que Ayuk (1997) préfère *live-hedge* quand les ligneux sont plantés très serrés. Une terminologie précise et universelle serait souhaitable.

Facteurs favorables à l'aménagement des espaces ruraux

Les enquêtes menées en milieu paysan (Louppe, 1991-a, -b ; Holst & Munkert, 1995 ; Lauga-Salénave, 1996 ; Gapihan, 1998 ; Ouattara & Louppe, 1998) font apparaître divers problèmes auxquels les agriculteurs sont confrontés.

* Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, département forêt. Cirad/Forêt TA 10C Campus de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France.

** Programme ressources forestières-Institut d'économie rurale (P.R.F.-I.E.R.), B.P. 258, Bamako (Mali).

Conflits agriculteurs-éleveurs

Traditionnellement, le pâturage n'est réglementé qu'en saison des pluies, période de cultures. En saison sèche, le parcours du bétail est libre et peu contrôlé, ce qui ne pose pas de problème pour les cultures pluviales, mais en pose pour les cultures pérennes ou de contre-saison comme le maraîchage. Beaucoup de conflits entre agriculteurs et éleveurs résultent du fait que les troupeaux pénètrent dans des parcelles qui leur sont normalement interdites. Le pasteur aura d'autant plus de facilités à conduire son cheptel que les limites de ces parcelles seront concrètes, visibles et difficilement franchissables.

Appropriation foncière

Pour de nombreuses raisons : accroissement de la population, modernisation des comportements liés à l'individualisation des revenus monétaires, le droit foncier traditionnel est souvent contesté par les nouvelles générations d'autant que le nombre de non-propriétaires augmente. Cette situation conduit à opter pour des solutions telles que :

- la sortie de l'espace vital initial par émigration vers la ville ou vers des zones moins peuplées ;
- la matérialisation, par la plantation d'arbres, des limites des terres reçues en prêt pour en avoir la jouissance à long terme et bénéficier ainsi d'un droit effectif de propriété.

Gestion des pâturages améliorés

En raison de l'occupation de plus en plus importante de l'espace par les terres cultivées et de l'appropriation réelle de celles-ci, l'éleveur voit son espace rétrécir. Il sera rapidement contraint d'intensifier son élevage et ne pourra le faire qu'en améliorant la production fourragère et sa gestion. L'enclosure des pâturages améliorés sera indispensable à court ou moyen terme.

Érosion des sols

La disparition progressive du couvert forestier, l'extension des superficies agricoles dénudées une partie de l'année et l'exploitation peu rationnelle des pâturages naturels fragilisent les sols qui sont de plus en plus sujets aux érosions hydrique et éolienne. L'aménagement des terroirs doit structurer le paysage parallèlement aux courbes de niveau et perpendiculairement à la direction des vents les plus violents par l'implantation de banquettes, cordons pierreux, bandes enherbées ou boisées et de haies vives.

La haie vive offre une solution potentielle à ces quatre problèmes. Elle est un outil d'aménagement du territoire en matérialisant la propriété foncière et en améliorant la gestion du cheptel et des pâturages. Elle apporte à l'agriculteur une garantie sur les terres et l'autorise à entreprendre des améliorations foncières et des spéculations de longue durée qu'il n'aurait pu envisager sans jouissance du foncier à long terme et sans protection contre le bétail.

Nous dresserons ci-après une revue bibliographique des travaux menés sur les haies vives et une synthèse des résultats acquis.

Sélection du matériel végétal

Depuis très longtemps, le besoin de haies vives se fait sentir, d'où l'extension bien avant les Indépendances, de haies d'espèces aisées à multiplier comme l'euphorbe et le pourghère.

Leur rôle était foncier ou anti-érosif. La protection contre le bétail était généralement assurée par des haies mortes, des nattes tressées, voire des murs de banco. Dans les zones les plus humides, des macro-boutures d'une dizaine d'espèces (*Bombax costatum*, *Erythrina senegalensis*, *Moringa oleifera*, *Spondias mombin*, *Sterculia* sp., etc.) étaient traditionnellement utilisées en association à des bois morts pour clôturer les enclos à bétail.

Dans les années soixante, des recherches de nouvelles espèces pour les haies défensives ont été entreprises (C.T.F.T., 1972). La majorité des espèces testées alors étaient des espèces exotiques dont l'éducation en pépinière était bien maîtrisée. Dans les années quatre-vingt, les recherches, plus systématiques, ont englobé les espèces autochtones dont la sylviculture commençait à être connue.

Critères de sélection des espèces

Jusqu'en 1990 environ, les espèces de haies vives défensives étaient sélectionnées sur des critères définis *a priori* :

- *épineuses* : caractère défensif ;
- *buissonnantes* : développement limité et ramification basse renforçant l'« impénétrabilité » ;
- *sociables* : aptitude à vivre en peuplements linéaires denses ;
- *croissance initiale rapide* : haie rapidement efficace et réduction des entretiens ;
- *multiplication aisée* en pépinière, par bouturage ou par semis direct ;
- *rustiques* : peu exigeantes ;
- *peu ou pas broutées* : minimise les risques de destruction par le bétail et le gibier.

Suite à l'expérience acquise, certains de ces critères sont devenus secondaires et d'autres ont émergés.

Les caractères suivants sont devenus secondaires :

- *épineux*⁽¹⁾ : une forte densité de plantation d'espèces sans épines permet une bonne efficacité ;
- *buissonnant* : une taille est toujours nécessaire ;
- *croissance initiale rapide* : une période d'installation plus longue est acceptable pour des espèces donnant des produits recherchés ; *Citrus lemon* par exemple.

Certains critères de sélection sont devenus prioritaires :

- *productions potentielles* : l'espèce sera d'autant plus largement utilisée qu'elle induira des revenus monétaires ;
- *résistance aux feux accidentels* : le risque de voir disparaître la haie par le feu existe même en zone agricole où les feux sont rares ;
- *longévité* : les espèces longévives rentabilisent mieux l'investissement que représente l'installation d'une haie.

Espèces retenues pour la création des haies

Beaucoup d'espèces ont été testées avec quelques succès mais rarement, semble-t-il, sur de grandes longueurs (de l'ordre du kilomètre ou plus). Seules *Jatropha curcas* et *Euphorbia balsamifera* ont été largement diffusées en sec et *Prosopis juliflora* en bordure des périmètres irrigués.

(1) Pour Ayuk (1997) les épines qui blessent les enfants sont le principal facteur limitant des haies au Burkina Faso.

Les espèces prometteuses ont été classées selon trois zones climatiques :

- soudano-sahélienne nord (précipitations annuelles moyennes : ⁽²⁾ entre 400 et 700 mm environ);
- soudano-sahélienne sud (précipitations annuelles moyennes : 700 à 1 000 mm);
- soudano-guinéenne (précipitations annuelles moyennes : 1 000 à 1 300 mm).

Dans chacune de ces zones, nous avons recensé respectivement vingt-deux, trente-six et trente-huit espèces de haies testées depuis vingt ans. Le tableau I présente les quinze espèces les plus fréquemment citées ou confirmées par l'expérimentation en milieu rural. Ces espèces constituent le matériel végétal vulgarisable. Toutefois, une certaine prudence reste nécessaire : les résultats présentés par les auteurs cités en bibliographie sont très nombreux après deux ou trois ans, peu abondants après cinq ans et rares après dix ans. Par manque de recul, nous conseillerons, sauf exception, d'utiliser ces espèces en haies plurispécifiques pour limiter les risques d'échec. Selon leur spectre climatique, certaines espèces se retrouvent dans plusieurs zones. Leurs conditions d'utilisation y seront différentes : par exemple une espèce à utiliser avec irrigation ou dans les bas-fonds en zone sèche pourrait l'être sur sols sableux en zone humide.

Tableau I. Espèces recommandables pour la réalisation de haies vives en zone sèche et subhumide.

Espèces	P * = 400-700 mm	P = 700-1 000 mm	P = 1000-1 300 mm
<i>Acacia mellifera</i>	X	X	
<i>Acacia nilotica</i>	X	X	
<i>Acacia senegal</i>	X	X	
<i>Agave sisalana</i>		X	X
<i>Bauhinia rufescens</i>	X	X	X
<i>Citrus lemon</i>		X	X
<i>Commiphora africana</i>	X	X	
<i>Dichrostachys cinerea</i>			X
<i>Euphorbia balsamifera</i>	X	X	
<i>Haematoxylon brasiletto</i>			X
<i>Jatropha curcas</i>	X	X	
<i>Moringa oleifera</i>		X	X
<i>Prosopis juliflora</i>	X	X	
<i>Ziziphus mauritiana</i>	X	X	X
<i>Ziziphus mucronata</i>			X

* P : précipitations

L'origine des semences est un facteur clé de réussite d'une espèce dans un environnement donné. Les semences doivent toujours provenir de zones à conditions écologiques similaires ou, à défaut, d'une région légèrement plus aride pour que les plants souffrent moins de la concurrence pour l'eau liée à la forte densité de plantation.

(2) P_m : précipitations annuelles moyennes en mm.

Création et entretien des haies

Multiplication du matériel végétal

L'installation de haies par *bouturage direct au champ* doit être privilégiée si l'espèce s'y prête ; le bouturage direct permet des économies substantielles et il minimise le temps de travail. Pour certaines espèces, dont *Euphorbia balsamifera*, le bouturage se fait en fin de saison sèche et interfère peu avec les travaux agricoles.

Le problème majeur est l'approvisionnement en boutures même pour des espèces abondantes comme *Euphorbia balsamifera*. Il limite la longueur des haies que l'on peut installer annuellement.

Le *semis direct* est une technique qui paraît avantageuse par sa simplicité apparente et son faible coût. Cependant, pour sa réussite, il faut lever plusieurs contraintes (Cazet, 1989 ; Dubus, 1989 ; Louppe, 1989 ; Stembert, 1991 ; Audinet, 1993 ; Depommier, 1993 ; Louppe & Ouattara, 1993 ; Kaya *et al.*, 1994 ; Ouattara & Louppe, 1998) :

- la nécessité de disposer de *quantités importantes de semences* ;
- le *prétraitement des semences* : seule la scarification (à l'acide ou mécanique) permet la conservation des graines après le prétraitement et autorise l'utilisation de semoirs mécaniques ;
- les risques de *sécheresse post-semis* peuvent être minimisés par paillage ;
- les risques d'*engorgement* (en bas-fonds) ou de *ruissellement* (sur pente) peuvent être maîtrisés par les techniques classiques de défense et de restauration des sols ;
- la *concurrence herbacée*, très délicate à éliminer par sarclage pourrait l'être plus aisément grâce aux herbicides sélectifs de prélevée ;
- les *attaques* d'insectes, rongeurs, herbivores, oiseaux et les *fontes de semis* peuvent être évitées par enrobage des semences avec un répulsif, un insecticide et un fongicide ;
- la nécessité de *semer tôt* dans la saison des pluies pour favoriser le développement racinaire avant la saison sèche augmente le caractère aléatoire et risqué de cette technique. Dans les zones les plus arides, lorsque cela est possible, les jeunes haies seront arrosées en cas de sécheresse.

L'*éducation en pépinière* avec transplantation sur le terrain reste la technique la plus sûre mais la plus onéreuse. Le prétraitement des semences peut être réalisé par ébouillantage, trempage dans l'eau ou dans l'acide sulfurique concentré et par d'autres techniques car le semis, immédiat, est manuel (Somé, 1987 ; C.N.S.F., 1995 ; Roussel, 1995 ; etc.). Pour minimiser les coûts de pépinière, de transport et de plantation, on peut éduquer les plants en planche pour la plantation à racines nues. Les stumps favorisent un port multicaule (Louppe & Ouattara, 1990) et permettent d'obtenir rapidement des haies denses.

Les espèces les plus fragiles ou de grande valeur (*Citrus lemon* par exemple) seront produites en pots selon les techniques classiques. Dans les régions sèches où les aléas climatiques sont fréquents, on préférera également les plants en pots.

Certaines espèces délicates à bouturer directement au champ pourront l'être en pépinière.

Installation des haies en sec

Les règles exposées ci-après sont transposables aux haies arrosées qui entourent les périmètres irrigués, les parcelles de maraîchage et les pépinières. Le taux de reprise des plantations et le taux de germination dans le cas de semis directs sont généralement améliorés par l'arrosage tout comme la vitesse de croissance initiale des plants (Hien & Zigani, 1987).

Disposition spatiale

Très souvent encore, on conseille de planter les haies en double ligne en quinconce pour en accroître l'efficacité (Hien & Zigani, 1987 ; Louppe, 1989 ; Depommier, 1993 ; etc.). Avec des épineux, le désherbage de l'interligne est rarement entrepris et les herbes qui s'y développent deviennent un lieu de passage préférentiel des feux. Pour limiter ce risque, on conseillera de planter sur un seul rang en augmentant la densité : un plant tous les vingt-cinq à trente-cinq centimètres.

Composition botanique

La majorité des haies sont monospécifiques et, après quelques années, deviennent hétérogènes en raison de la grande variabilité des sols. Certaines espèces, peu adaptées, disparaissent. Ces haies ne sont pas efficaces et font perdre la confiance des agriculteurs. Les haies plurispécifiques n'ont pas inconvénients et sont utilisées de plus en plus fréquemment. Au minimum, on utilisera deux espèces en mélange pied à pied, voire plus, par semis direct.

Période d'installation

La plantation, ou le semis direct, doit intervenir aussi tôt que possible dans la saison des pluies. La taille des plants à sept mois est fonction de la précocité de leur installation (Louppe & Ouattara, 1990).

Techniques d'installation

Préparation du terrain

Comme pour toute plantation d'arbres, la croissance juvénile des plants est meilleure s'ils profitent d'un grand volume de sol ameubli. Un bon travail du sol permet aussi de maîtriser la concurrence herbacée parfois pendant plusieurs semaines. Il semble que plus la xéricité augmente, plus le travail du sol doit être important. Pour une pluviométrie de sept cents millimètres environ, Hien & Ziagni (1987) et Depommier (1993) préconisent de réaliser une tranchée profonde de soixante centimètres aussi bien pour les plantations que pour les semis. Plus au sud, avec des précipitations de mille deux cents millimètres, Ouattara & Louppe (*non publié*) ont obtenu d'excellents résultats :

- en ouvrant à la charrue en traction animale un sillon suffisamment profond pour y installer les plants en pots ;
- en réalisant un billon, toujours en traction animale, pour les semis directs qui y germent mieux qu'à plat.

Dans des zones plus sèches (500 mm), Cazet (1989) sème les graines prégermées au fond de petites cuvettes. Ces entonnoirs concentrent l'eau de pluie au niveau des semences. Cette technique, associée au paillage des semis qui réduit l'évaporation, donne des résultats tout à fait remarquables.

Mise en place des boutures

Les techniques de bouturage doivent être parfaitement maîtrisées pour obtenir très rapidement une haie dense et efficace. Par exemple, pour *Euphorbia balsamifera*, le latex doit sécher pendant au moins une semaine afin de cicatiser les extrémités des boutures. On peut alors les stocker pendant deux mois et les mettre en terre avant l'arrivée des pluies (Van der Poel *et al.*, 1988 ; Desmarchelier, 1992). Les boutures les plus grandes et les plus grosses sont les meilleures et doivent être enfoncées de quinze centimètres environ dans le sol. En les plantant obliquement (environ à 45°) on favorise le démarrage de plusieurs nouvelles tiges par bouture et la haie qui en résulte est très rapidement fermée et efficace. Cette technique a été utilisée par Louppe & Attaou, au Niger, en 1979.

Installation par semis direct

Une bonne profondeur de semis est essentielle à la réussite de la haie car le taux de germination diminue rapidement avec la profondeur du semis (Louppe & Ouattara, 1993-b). Pour *Dichrostachys cinerea*, une profondeur de un centimètre semble optimale alors que pour *Acacia polyacantha*, dont les graines sont un peu plus grosses, on peut aller jusqu'à deux centimètres. Pour des espèces à grosses graines, la profondeur de semis a moins d'importance.

Il faut semer très densément, que ce soit en ligne ou par poquets. Il doit y avoir une graine tous les sept à dix centimètres. Les semoirs mécaniques permettent le semis de graines prétraitées à l'acide, rincées et séchées et conservées plusieurs semaines (Louppe & Ouattara, 1993-a; Ouattara & Louppe, 1993). Les graines prétraitées par trempage sont trop fragiles pour un semis mécanique (Louppe, 1989-a). Il est également possible de semer des graines prégermées ce qui permet d'utiliser moins de semences car la viabilité du matériel végétal est garantie. Cependant, ces graines sont très fragiles et doivent être manipulées avec précaution (Cazet, 1989).

Le semis direct a donné de bons résultats (près de 200 km de haies vives au Nord de la Côte-d'Ivoire) mais demande des soins particuliers et un stock important de semences.

Plantation

Cette technique est généralement bien connue par les services techniques. Néanmoins une formation est nécessaire pour les agriculteurs. En particulier, le cernage des racines en pépinière, le sectionnement de la crosse de fond de pot et l'enlèvement du sachet plastique au moment de la plantation sont essentiels à la réussite de la plantation.

Obstacles majeurs à la création de haies

La majorité des auteurs s'accordent pour dire que les échecs d'installation des haies résultent soit d'une forte mortalité des plants, soit d'une faible germination des graines. C'est un problème très préoccupant qui résulte essentiellement d'une mauvaise formation technique des opérateurs.

Pour l'agriculteur, le coût du matériel végétal est une contrainte majeure eu égard à ses revenus. Cent mètres de haie continue nécessitent trois cents plants et un investissement de trente mille francs C.F.A. (au Nord de la Côte-d'Ivoire) sans compter le travail de plantation ni le transport des cinq cents kilogrammes de la terre des pots.

De plus, le résultat n'est pas immédiat : d'après les agriculteurs, cinq années peuvent être nécessaires pour que la haie soit efficace et qu'elle résiste aux feux de brousse (Kaya *et al.*, 1994).

Entretien de la haie

Les regarnis

Pour une efficacité optimale, la haie doit être dense, les trous doivent être bouchés régulièrement. Les regarnis doivent être entrepris dès la première année, sans attendre la fin de la saison des pluies. Il est alors encore possible d'effectuer les remplacements par semis ou par bouturage. Dès la deuxième année, ces regarnis ne peuvent être entrepris qu'avec des plants en pots même dans des haies issues de semis directs. Pour limiter la concurrence des plants âgés vis-à-vis des jeunes, Van den Berg (1982) préconise de couper les racines latérales des premiers. Malgré cette concurrence, Kaya *et al.* (1994) citent deux agriculteurs maliens qui regarnissent leurs haies par semis à la volée. Au Cameroun, les boutures sont des éléments essentiels à la pérennisation du système de haies bamiléké ; elles se vendent en fagots pour les espèces les plus couramment utilisées (Gauthier, 1994-b).

Élimination de la concurrence herbacée

Comme la majorité des espèces ligneuses, les haies sont sensibles à la concurrence herbacée dans le jeune âge. Deux à trois sarclages annuels sont nécessaires les premières années. Ensuite un désherbage de fin de saison des pluies reste indispensable pour limiter les risques de feu. C'est un travail considérable qui vient en concurrence avec les travaux agricoles. C'est pourquoi il est rarement fait correctement. Cet absence de désherbage conduit généralement à une mauvaise installation de la haie, voire à sa disparition rapide (Louppe, 1989-c ; Dibloni, 1997 ; Gapihan, 1998 ; Ouattara & Louppe, 1998). L'utilisation d'herbicides sélectifs a fait ses preuves (Louppe & Ouattara, 1993), mais leur coût est trop élevé pour les agriculteurs.

Au cours des désherbages, il faut conserver les ligneux qui poussent spontanément sur ou à proximité de la ligne de plantation. La haie en est densifiée, la biodiversité augmente et diminue les risques de disparition prématurée de la haie.

Protection contre la dent des animaux

La haie vive, sauf les espèces non broutées comme les euphorbes ou le pourghère, doit être protégée dans le jeune âge de la dent des animaux. Les rongeurs et les caprins sont les plus grands ennemis des ligneux. Les bovins sont moins dangereux mais ils peuvent détruire les jeunes plants en les arrachant ou en les écrasant. Dans plusieurs pays (Diaïté, 1986) les agriculteurs confectionnent un répulsif avec de la bouse de vache pulvérisée sur les plants.

Beaucoup d'auteurs conseillent, en raison des risques d'abrutissement, de planter les haies à l'intérieur d'un enclos fait de haies mortes, de grillages ou de barbelés. Cette technique n'encourage pas les paysans à prendre soin de leur haie et conduit fréquemment à l'échec (Weber & Hoskins, 1983).

Entretien et taille des haies

La majorité des auteurs conseillent de tailler les haies pour limiter leur emprise et renforcer leur efficacité. À ce jour, très peu de résultats ont été publiés en raison de la difficulté de comparer statistiquement (Depommier & Freycon, 1990) l'effet de la taille sur l'architecture de la haie et sur son efficacité. Hien & Zigani (1987) conseillent de tailler les haies très tôt (à deux ans si possible) pour les densifier. Ouattara & Louppe (1998), pour plusieurs espèces, ont obtenu d'excellents résultats avec une taille basse (20 cm) douze mois après plantation. Hien & Zigani (1987) recommandent deux tailles par an : en fin de saison sèche et en saison des pluies.

Les résidus de taille, s'ils ne sont pas utilisés comme fourrage ou pour la fabrication de haies mortes, seront déposés au pied de la haie pour la renforcer (Peltier, 1988).

La taille de la haie est une opération délicate. Dibloni (1997) évoque entre autres la nécessité d'avoir de bons gants pour tailler les espèces épineuses et Gapihan (1998) signale que les branches souples des haies rebondissent sur les machettes et blessent ceux qui les manient. L'outillage et l'équipement adéquat sont très onéreux et hors de portée des petits agriculteurs, si bien que Jansens *et al.* (1994) proposent de ne pas intervenir dans un premier temps. La haie sera recépée à quatre ou cinq ans et le bois utilisé à des fins diverses. Comme chaque souche produira plusieurs rejets, la haie se trouvera renforcée et plus efficace. Van den Berg (1982) suggère de prendre les branches latérales et de les tresser avec celles des autres plants pour renforcer l'impénétrabilité de la haie.

Pour certaines haies, la production, notamment fruitière, peut être hypothéquée par la taille. Avant de l'entreprendre, il faut évaluer si les pertes potentielles de rendement sont compensées par la récupération d'un peu de surface agricole. Si la valeur des fruits est élevée, il est préférable de réaliser une taille fruitière.

L'élagage naturel s'observe, à un âge plus ou moins avancé, sur l'ensemble des espèces, sur une hauteur plus ou moins importante quels que soient les soins (taille, désherbage) apportés à la haie. Seule une forte densité sur la ligne garantit une certaine efficacité à long terme à la haie.

Quelques espèces qui fructifient ou drageonnent abondamment peuvent être envahissantes. Le danger est néanmoins faible si le sol est labouré chaque année.

Productions de la haie

Les haies, outre leur aspect défensif, produisent fréquemment des revenus pour les agriculteurs. Les productions (fruits, fourrage, bois, pharmacopée, etc.) sont de la plus haute importance car elles favorisent l'appropriation de la technique de la haie par les agriculteurs. Les enquêtes de Ayuk (1997) au Burkina Faso montrent cependant que ce ne serait pas un des facteurs les plus déterminants de décision.

Peu d'études ont été réalisées pour quantifier ces productions annexes. Par exemple, Lamers *et al.* (1994) indiquent que les feuilles de *Acacia nilotica* contiennent deux cent cinquante-huit grammes par kilogramme de protéines brutes et ont un rapport protéine brute/énergie métabolisable supérieur à celui des pâturages naturels du Sud-Ouest du Niger mais sans préciser la quantité de fourrage que cent mètres de haie peuvent produire.

Effets écologiques des haies vives

La haie est une rupture brutale dans le paysage agricole. De ce fait, elle induit des modifications micro-écologiques importantes dans lesquelles micro-climat, sol et activités biologiques interagissent et s'influencent réciproquement.

L'effet brise-vent, la modification de l'évapotranspiration et l'ombrage sont les trois facteurs principaux de l'effet des haies vives sur le *micro-climat*. Ils ont généralement été étudiés dans le cadre des cultures en couloir mais, rarement pour les haies vives au sens strict. Certaines observations, relevées dans des zones très arides, laissent supposer qu'un ralentissement de la vitesse du vent, surtout en saison chaude, induit une augmentation des températures au niveau du sol qui, parfois, peut nuire aux productions agricoles. À l'opposé, les risques liés aux vents violents de saison des pluies et aux vents érosifs de saison sèche sont réduits. Au Niger, Eltrop *et al.* (1996) ont mesuré au cours de la saison des pluies de 1990, que quatre-vingt-huit pour cent du sol érodé par le vent est transporté dans les dix premiers centimètres au-dessus du sol. Dans les mêmes conditions, Buerkert *et al.* (1996) ont montré que des brise-vent bas (1,50 m environ) larges de six mètres et relativement lâches, réduisent le transport particules de sol (entre 5 et 50 cm au-dessus du niveau du sol) de soixante-dix pour cent pour des brise-vent espacés de six mètres ; de cinquante-trois pour cent pour un espacement de vingt mètres et de quarante pour cent pour un espacement de quarante mètres. Dans cette étude, le témoin correspond à un écartement de quatre-vingt-dix mètres entre brise-vent. Ces résultats sont, avec quelque prudence, transposables aux haies vives.

Dans les pays européens, où de nombreux chercheurs travaillent sur les haies, on a remarqué que la réduction de la vitesse du vent réduisait également la dispersion des aérosols contenant des insecticides. Les haies permettent ainsi une meilleure localisation du traitement phytosanitaire tout en constituant une barrière physique qui empêche ces aérosols de contaminer la parcelle voisine.

Dans le cas de périmètres irrigués en zones arides (Mohamed *et al.*, 1995), les haies brise-vent réduisent fortement l'ensablement des canaux d'irrigation et des parcelles en piégeant le sable. Elles provoquent ainsi, en dehors du périmètre cultivé, la création d'une dune qui peut atteindre une cinquantaine de mètres de large.

Le sol est enrichi par les particules piégées par la haie, par les retombées organiques provenant des ligneux (feuilles, fleurs, fruits, bois) et par les déjections des animaux qui trouvent refuge dans ou sous les buissons.

L'infiltration des eaux de pluie est favorisée au niveau de la haie par l'absence de croûte de battance et par une meilleure porosité du sol. Disposées perpendiculairement à la plus grande pente, elles contribuent à réduire le ruissellement et l'érosion hydrique (Perez *et al.*, 1997).

L'activité biologique est importante sous la haie qui crée un biotope favorable à la vie. Elles sont un réservoir pour une multitude d'espèces animales. Oiseaux, mammifères, reptiles, batraciens, insectes, trouvent refuge dans ce milieu où se développent des chaînes alimentaires complexes. Cela a été très peu étudié en Afrique mais l'est de plus en plus dans les pays du Nord. (Zwölfer & Stechmann, 1989; Bruneau *et al.*, 1992; Nicoli *et al.*, 1995; Burel, 1996; Alvarez *et al.*, 1997; Joyce *et al.*, 1997; Kotzageorgis & Mason, 1997; Maudsley *et al.* 1997; Simon *et al.*, 1997). Ces auteurs, chacun dans leur domaine, montrent une concentration d'une grande variété d'espèces animales au niveau des haies. Notamment, les populations de coccinelles, prédatrices des pucerons, y nichent, ce qui limite les besoins en insecticides pour la protection des cultures voisines. La production de miel est améliorée. Tous ces auteurs constatent que la biodiversité animale est plus élevée que dans les cultures adjacentes et qu'elle est d'autant plus grande que la biodiversité végétale de la haie est élevée. Les réseaux de haies sont des chemins privilégiés pour le déplacement des espèces animales; on constate ainsi que des espèces à écologie forestière stricte se retrouvent, sous les haies, loin de leur milieu d'origine. Toutefois, il ne doit pas y avoir coupure dans le réseau de haies car cela suffit à stopper le déplacement de ces espèces.

Sous la haie, le sol moins aride regorge d'une faune invisible qui se concentre là à mesure de l'avancée de la saison sèche : vers de terre, termites, macro-, méso- et micro-faunes. Ouattara (cité par Louppe *et al.*, 1996) a observé une population de vers de terre et de termites nettement plus élevée sous un brise-vent constitué d'une simple ligne de *Acacia mangium* âgés de six ans que sous une jachère herbacée à *Pueraria* et surtout que dans une culture d'arachide. Les différences les plus marquées s'observent en début de saison des pluies et en début de saison sèche. Beaucoup d'autres espèces se rencontrent sous la haie. Elles n'ont pas fait l'objet de recensements. En tant que refuge de la biodiversité, la haie joue-t-elle un rôle positif ou négatif sur la production agricole des parcelles voisines ?

La haie est aussi un site privilégié pour la multiplication des espèces végétales qui profitent du micro-climat créé par son couvert. Ainsi, peut-on y voir se réinstaller, souvent par zoochorie, des espèces ligneuses rares ou peu fréquentes.

Les feux sont un risque majeur pour la pérennité des haies car l'abondance des graminées et de la matière organique sèche que l'on retrouve sous celles-ci en font un milieu hautement combustible. La haie peut ainsi devenir un chemin privilégié de diffusion des feux de brousse dans les terroirs fortement anthropisés où ces feux avaient pratiquement disparu. Certaines espèces à feuillage épais comme *Ziziphus mucronata* réduisent fortement, par ombrage, concurrence ou allélopathie, le développement des herbacées. De telles espèces doivent être privilégiées dans les milieux à risque. Le pâturage au pied de la haie, une fois celle-ci bien installée, réduit la biomasse combustible et peut être une méthode simple et efficace de prévention.

Avantages et inconvénients socio-économiques des haies

La haie est indispensable à une bonne gestion de l'espace rural. L'importance des haies mortes dans les différents paysages d'Afrique en témoigne. Louppe (1991b), Kaya *et al.* (1994) etc., ont montré que la création de clôtures avec du grillage et des fils de fer barbelés n'étaient pas à la portée des moyens financiers des populations qui en ont besoin. Les haies mortes sont peu durables et demandent une importante force de travail même si le coût monétaire réel est peu élevé. Jansens *et al.* (1994) pensent néanmoins que le remplacement des clôtures par des haies vives ne se justifie que si les matériaux manquent pour les construire, notamment quand il est indispensable d'économiser le bois comme au Nord du Sénégal où Von Maydell *et al.* (1983) estimaient qu'un quart du bois servait à fabriquer des haies mortes. Ayuk (1997) considère qu'il est indispensable d'arrêter progressivement de construire des haies mortes pour réduire la pression sur le milieu et permettre une restauration de l'environnement.

La haie vive défensive telle que définie ci-dessus répond donc à un besoin réel. Elle présente pour les utilisateurs de l'espace rural un certain nombre d'avantages et de contraintes. Parmi les premiers, on peut citer la délimitation de la propriété foncière, l'interdiction au libre accès du pâturage, la production de bois ou de fourrage, etc. Les contraintes les plus fréquemment évoquées sont la réduction des superficies cultivables et l'hébergement d'espèces nuisibles aux cultures. La difficulté pour les agriculteurs d'accéder à cette technique (coût des semences et surtout des plants, travail supplémentaire en saison de cultures) représente aussi un réel problème.

À chaque avantage apporté par la haie est associé un inconvénient. Il convient de dresser un bilan pour comprendre comment et pourquoi la haie vive sera ou non intégrée aux systèmes de culture.

La haie permet la *matérialisation de la propriété terrienne* (Kaya *et al.*, 1994) dont elle devient la garante, ce qui permet une meilleure gestion des terres, des cultures et des pâturages. Sécurisé, l'agriculteur entreprendra des améliorations foncières (Ouattara & Louppe, 1998). L'embocagement à vocation cadastrale⁽³⁾ est accepté dans les zones à forte pression sur le foncier⁽⁴⁾ surtout s'il garantit la propriété d'un investissement important (verger par exemple). Ailleurs, la plantation d'arbres entre en conflit avec le droit coutumier qui concède l'usufruit, et non la pleine propriété de la terre. La haie, dans ce cadre, représente une transition douce, mais réelle, entre un droit coutumier obsolète et le droit moderne étatique. Comme l'écrit Raintree (1986), les arbres peuvent servir à consolider les aspects fonciers... mais tout aussi bien à accaparer abusivement des terres; alors, la plantation sera soumise à une réglementation locale sévère qui freine le développement des haies (Gapihan, 1995).

La *protection contre la divagation du bétail* permet d'entreprendre des cultures de contre-saison ou d'avoir des pâtures améliorées sans craindre les dégâts provoqués par un cheptel habituellement laissé en libre pâturage en saison sèche. Cette limitation d'accès aux pâturages est malheureusement considérée par les pasteurs comme une limitation de leurs droits coutumiers et entraîne des conflits.

(3) Dans un système de tradition orale, le cadastre du droit foncier moderne n'existe pas. La délimitation des parcelles par des plantations matérialise les limites et induit un droit de propriété sur la terre. Les haies jouent alors, physiquement, le rôle du cadastre et Louppe (1991) a utilisé l'expression *cadastre végétal* pour décrire le rôle de renforcement de l'appropriation.

(4) Au voisinage des villes ou dans les zones à forte densité de population.

L'emprise de la haie : par manque d'outillage adéquat et de temps, la taille des haies en largeur est rarement effectuée. Aussi les haies ont-elles une emprise beaucoup plus importante qu'il ne serait nécessaire. Un bocage constitué de haies de deux mètres de large et espacées de cent mètres voit sa surface agricole utile réduite de quatre et de huit pour cent pour un écartement de cinquante mètres. En contrepartie, cette surface non cultivée n'est pas improductive. Elle est source de fourrage, de bois, de fruits, de produits médicinaux en fonction des espèces qui la composent. La haie est un site privilégié de nidification du petit gibier et participe ainsi à l'alimentation protéinique.

Effet sur les cultures : généralement, la haie a un effet dépressif sur les cultures proches. Cazet (1989), pour des haies de *Acacia nilotica*, *Acacia Sénégal* et *Acacia tortilis* de deux mètres de haut, indique une perte de rendement en niébe de quarante à soixante pour cent entre 1 et 2,5 mètres de l'axe de la haie et seulement de dix pour cent pour *Prosopis juliflora*. Dibloni (1997) associe cet effet dépressif sur les cultures à l'extension du système racinaire des haies dans les horizons de surface. Ainsi, les racines de *Bauhinia rufescens* et de *Ziziphus mauritiana* seraient concentrées dans les deux premiers mètres les plus proches de la haie ; celles de *Acacia nilotica* s'étendraient jusqu'à quatre mètres et celles de *Prosopis juliflora* jusqu'à sept mètres. Pour cette dernière espèce, l'effet dépressif sur les cultures adjacentes sera alors moindre près de la haie mais s'étendra plus loin ce qui pourrait expliquer les observations de Cazet. Cette baisse de rendement, tout comme la perte de surface cultivée, sont deux facteurs négatifs très visibles qui influent sur les décisions de l'agriculteur par rapport aux plantations linéaires denses.

Les contraintes de temps et de main-d'œuvre : L'installation d'une haie se fait généralement à un moment où le calendrier cultural est très chargé. Il est donc indispensable que les techniques d'installation de haies soient aussi économes en main-d'œuvre que possible. Un gros effort de recherche-développement doit être entrepris dans ce sens, même si la haie, une fois installée, permet annuellement un gain substantiel de temps par rapport au remplacement des haies mortes (Ayuk, 1997).

Les contraintes financières : installer une haie représente un investissement important par rapport aux possibilités financières des populations rurales. En Côte-d'Ivoire, les revenus monétaires des populations rurales pour l'année 1994 étaient compris entre quarante mille et quatre-vingt-quatre mille francs C.F.A. par individu⁽⁵⁾. Le coût de cent mètres de haies est élevé : au Sénégal en 1992 (Dugué, 1996) quatorze mille francs C.F.A. pour l'achat des plants ; en Côte-d'Ivoire (Ouattara & Louppe, 1998), trente mille francs C.F.A. pour les plants ou trois mille francs C.F.A. pour les seules semences. Le semis direct est nettement plus abordable mais reste encore trop cher par rapport aux ressources des petits agriculteurs. Pourtant, d'après Pérez *et al.* (1997), le coût d'installation de haies anti-érosives est remboursé en trois ans par les gains de productivité agricole et un accroissement de vingt pour cent des revenus monétaires dans le cas de jardins maraîchers de contre-saison est possible grâce au temps de travail gagné en ne remplaçant pas les haies-mortes (Bonkougou *et al.*, 1996 ; Ayuk, 1997). Pour ces auteurs, l'investissement représenté par la haie vive correspond environ au coût de fabrication, d'entretien et de remplacement d'une haie morte pendant quatre années consécutives.

(5) *Fraternité matin* du 14 décembre 1998, autoconsommation non incluse.

Acceptabilité

L'acceptabilité de la technique des haies vives dépend de l'intérêt que les paysans y trouvent : par exemple atténuation de l'érosion éolienne, divagation des animaux et matérialisation des limites des champs (Sanogo *et al.*, 1999). Le fait qu'elles servent d'abris à des oiseaux ou à des mammifères granivores, à des serpents et à d'autres animaux joue en leur défaveur. *A contrario*, les effets positifs de la haie : réduction du ruissellement et de l'érosion, remontée d'éléments minéraux des profondeurs du sol, maintien d'un micro-environnement plus favorable dont profite la faune et la flore ne sont pas directement perceptibles et n'influencent pas ou peu les décisions. De plus, ces effets, bien souvent, n'ont pas été mesurés et leur retour économique n'a pas été évalué.

D'autres facteurs influent sur les motivations paysannes : au Sénégal, la haie est un moyen d'accès à la terre et aux crédits (Sanogo *et al.*, 1999). Ayuk (1997), au centre du Burkina Faso, en modélisant les conditions d'adoption des haies montre que trois facteurs affectent le taux d'adoption de la haie vive. Ce taux augmente de trente-huit pour cent si l'agriculteur cultive des produits commercialisables en contre saison, de vingt-six pour cent s'il dispose d'eau pour l'irrigation et de vingt-six pour cent s'il utilise du fumier. Il tend aussi à augmenter avec l'âge de l'agriculteur et à diminuer avec le nombre d'actifs dans l'exploitation. Cela est confirmé par Gapihan (1998), en Côte-d'Ivoire, et par Sanogo *et al.* (1999), au Sénégal, pour qui le statut social et la richesse de l'agriculteur (superficies cultivables, main-d'œuvre) influent sur la décision d'adopter la haie vive.

Conclusions

La haie vive répond à un besoin affirmé des populations rurales des zones de savanes de l'Afrique de l'Ouest. Pour investir, les paysans ont besoin d'une garantie de longue durée sur l'usufruit de la terre. Ils doivent protéger leurs cultures du bétail souvent laissé en libre pâturage. Dans un proche avenir, les éleveurs auront à améliorer et mieux gérer leurs pâturages et leur cheptel. La haie convient à ces rôles de cadastre végétal et de clôture qui autorisent améliorations foncières et pastorales.

De nombreuses espèces ont été testées et une quinzaine ont été sélectionnées pour la création de haies vives. Leur installation, par boutures, semis ou plantation, est maîtrisée techniquement par les centres de recherche et quelques services techniques. Malgré cela, rares sont les grandes réalisations en milieu paysan en partie parce que les agriculteurs n'ont que rarement la formation technique adéquate.

La coutume empêche souvent de planter des arbres. L'emprise de la haie sur les terres agricoles est, pour l'agriculteur, un inconvénient majeur tout comme l'effet dépressif sur les cultures voisines. La haie est un important réservoir de biodiversité dans les milieux agricoles trop simplifiés et trop artificialisés, avec ses avantages et ses inconvénients. Ces derniers sont plus aisément perceptibles que les premiers qui n'apparaissent qu'après l'installation de la haie. Un certain temps est également nécessaire pour que la haie commence à améliorer le micro-climat, réduise l'érosion, etc., mais ces changements sont progressifs et l'agriculteur n'en a pas une nette conscience.

Une législation traditionnelle contraignante, des inconvénients trop évidents et des avantages perceptibles seulement à long terme, font que la haie vive n'est, bien souvent, pas considérée à sa juste valeur par les agriculteurs. La haie, mal comprise, risque de ne pas avoir la diffusion souhaitable. En revanche, elle apparaît et envahit rapidement le milieu s'il y a de graves conflits fonciers. Elle fait déjà partie du paysage pour protéger des parcelles à haute productivité telles que les vergers de manguiers et les jardins maraîchers de contre-saison.

Pour l'agriculteur, la haie représente un lourd investissement financier que, bien souvent, il n'a pas les moyens d'assumer, même si celui-ci peut être amorti en trois ou quatre années. La haie, son installation particulièrement, demande, en plus des dépenses financières, beaucoup de temps de travail, généralement en surplus d'un calendrier agricole déjà très chargé.

Nous concluons donc avec Schmutz (1994) pour qui l'avenir des haies passe par un engagement des acteurs institutionnels. La recherche a mis au point des techniques de haies vives qui permettent, si elles sont appliquées, de sécuriser la propriété foncière, de mieux gérer le patrimoine naturel, d'améliorer les productions agricoles et de conserver la biodiversité. Ces techniques ne sont malheureusement pas à la portée financière des agriculteurs. Toutes les réalisations importantes que l'on peut voir aujourd'hui ont été réalisées avec une aide financière extérieure.

Si la politique des pays d'Afrique de l'Ouest est, pour le bien de leurs populations, de favoriser la production agricole et de réduire les conflits fonciers, les pouvoirs publics ne doivent pas hésiter à subventionner la création des haies comme cela se fait dans de nombreux pays du Nord. Ils ne doivent pas non plus arrêter l'effort de recherche entrepris car si de nombreux résultats acquis sont déjà en cours de transfert, il faut en améliorer l'efficacité, continuer à diversifier les espèces végétales utilisables, améliorer les techniques d'installation et de gestion des haies pour, principalement, en augmenter la faisabilité, la fiabilité et en réduire les coûts.

Références

- Alvarez T., Frampton G.K., Goulson D. & Bolger T. (1997). « Population dynamics of epigeic *Collembola* in arable fields : the importance of hedgerow proximity and crop type », IX^e International Colloquium on Apterygota, Dublin 1996, *Pedobiologia*, vol. XLI, n° 1-3 : pp. 110-114.
- Audinet M. (1993). « Prétraitement des semences », *Le Flamboyant*, n° 28 : pp. 21-23.
- Ayuk E.T. (1997). « Adoption of agroforestry technology : the case of live hedges in the central Plateau of Burkina Faso », *Agricultural Systems*, vol. LIV, n° 2 : pp. 189-206.
- Bonkougou E., Djimde M., Ayuk E., Zougrana I. & Tchoundjeu Z. (1996). *Taking stock of agroforestry in the sahel – harvesting results for the future. End of phase report : 1989-1996*, Icrf, 55 p.
- Bruneau E., Van Nitsen L., Andre P. & Bruneau E. (1992). « Mellifera development in farming areas. Example : hedgerows. *Bees for pollination* », Proceedings of an EC workshop, Brussels, Belgium, 2-3 mars 1992 : pp. 151-165.
- Buerkert B., Allison B.E. & Von Oppen M. (éd.), (1996). Wind erosion in West Africa. The problem and its control. Proceedings of the international symposium. Weikersheim (DEU) : Margraf, 1996. 397 p.
- Buerkert B., Banzhaf J., Buerkert A. & Lrihner D.E. (1996). « Effects of natural savannah windbreaks on soil ridging on wind erosion and growth of cowpea and millet », in Buerkert *et al.* (éd.), 1996 : pp. 87-104.
- Buerkert B., Allison B.E. & Von Oppen M. (éd.) (1996). *Wind erosion in Niger*, Kluwer Academic Publishers, (the Netherlands).
- Burel F. (1996). « Hedgerows and their role in agricultural landscapes », *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. XV, n° 2 : pp. 169-190.
- C.N.S.F. (1996). *Catalogue 1995-1996*, Ouagadougou, C.N.S.F. (Centre National de Semences Forestières), 27 p.
- Cazet M. (1989-a). « Les plantations linéaires denses sur les sols sableux dégradés de la zone centre-nord du Sénégal. Comportement et effets sur les cultures adjacentes de quelques espèces locales et introduites », *Bois et Forêt des Tropiques*, n° 222 : pp. 27-37.
- Cazet M. (1989-b). « Essai de semis direct de huit espèces locales utilisables en haie-vive », in Louppe (1989) : pp. 14-15.
- C.T.F.T. (1972). *Notes sur les brise-vent et les haies-vives*, Niamey, C.T.F.T. (Centre Technique Forestier Tropical), Niger, n. p.

- Depommier D. & Freycon V. (1990). *Note sur l'expérimentation en agroforesterie appliquée aux zones sèches : les haies-vives*, Ouagadougou, Irbet-Cirad-forêt, 18 p. + tabl.
- Depommier D. (1993). « Propagation et comportement des espèces à usages multiples en haies-vives dans la zone soudano-sahélienne : résultats préliminaires d'essais menés à Gonsé et à Dindéréso (Burkina Faso) », in Riedacker *et al.* (éd., 1993) : pp. 155-165.
- Desmarchelier A. (1992). « Lutte anti-érosive : des Euphorbes pour remplacer des pierres au Burkina Faso », *Le Flamboyant*, n° 22 : pp. 27-28.
- Dibloni O.T. (1997). *Les haies-vives défensives au Burkina Faso : état des connaissances*, Ouagadougou, Inera, 20 p.
- Dubus P. (1989). *Essais sur le semis direct*, Nogent sur marne (France), C.T.F.T., 6 p.
- Dugué P. (1996). « Quels appuis pour le développement des activités agrogforestières et sylvoles au Sine-Saloum (Sénégal) ? », *Le Flamboyant*, n° 37 : pp. 31-35.
- Eltrop L., Allison B.E. & Michels K. (1996). « Wind erosion and wind erosion effects on the growth and development of pearl millet », in Buerkert *et al.* (éd., 1996) : pp. 67-83.
- Floret Ch. & Pontanier R. (éd.) (2000). *La jachère en Afrique tropicale*, 2 vol., vol. I, *Actes du séminaire international*, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, vol. II, *De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances*, Paris, John Libbey, 804 p. & 356 p.
- Floret Ch., Pontanier R. & Serpantié G. (1993). *La jachère en Afrique intertropicale*, Dossier Mab 16, Paris, Unesco, 86 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. éd. (1998). *Jachère et systèmes agraires*, Actes de l'atelier Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest, Niamey, 30 sept.-2 oct. 1998.
- Gauthier D. (1994). « Valeur d'usage des arbres en pays Bamiléké », *Bois et Forêt des Tropiques*, n° 241 : pp. 39-51.
- Gapihan J.-Y. (1995). « Agroforesterie au Sahel : quelles approches de vulgarisation ? », *Le Flamboyant*, n° 35 : pp. 33-38.
- Gapihan J.-Y. (1998). *Pratiques paysannes d'agroforesterie et capacités d'adaptation au changement : Étude de cas du village de Dessimblé, Département de Korhogo, Côte-d'Ivoire*, mém. fin d'études, Master européen Natura, Montpellier, Cnéarc, 77 p. + annexes.
- Hien F. & Zigani G. (1987). *La haie-vive : Un modèle d'intégration de l'arbre au système d'exploitation agricole et pastorale*, C.R.D.I., Rapport manuscrit, Ottawa (Canada), 60 p.
- Holst S. & Munkert H. (1995). *L'utilisation potentielle des haies-vives défensives dans le système de parcs arborés dans le cercle de Ségou*, Rapport de stage de courte durée, Swedish University of Agricultural Science, Working Paper n°290, 20 p. + annexes.
- Jansens J.W., Hummel R. & Den Heijer R.P. (1994). *Bandes boisées. Orientations pratiques pour la zone sahélo-soudanienne*, Wageningen (Pays-Bas), Bois-document 18, C.T.A., 70 p.
- Joyce K.A., Jepson P.C., Doncaster C.P., Holland J.M. & Cooper A. (1997). « Arthropod distribution pattern and dispersal processes within the hedgerow », in Power (éd., 1997) : pp. 103-110.
- Kaya B., Diarra S. & Coulibaly A. (1994). *Les haies-vives en zone Mail-Sud. Etat actuel des connaissances scientifiques et traditionnelles*, Rapport de recherche, Sikasso (Mali), E.R.S.-G.R.N., document 94-05, 23 p.
- Kotzageorgis G.C. & Mason C.F. (1977). « Small mammal populations in relation to hedgerow structure in an arable landscape », *Journal-of-Zoology*, vol. CCXLII, n° 3 : pp. 425-434.
- Ky-Dembele C. (1997). *Synthèse des essais lutte anti-érosive : végétalisation des cordons pierreux, végétalisation des diguettes en terre, haies-vives anti-érosives*, Ouagadougou (Burkina Faso), Inera, 10 p.
- Lamers J.P.A., Michels K. & Van Den Beldt R.J. (1994). « Trees and windbreaks in the sahel : establishment, growth, nutritive and calorific values », *Agroforestry Systems*, vol. XXXVI, n° 3 : pp. 171-184.
- Lauga-Sallenave C. (1996). « La clôture, une signature au pays des Peuls de Guinée », *Cahiers des Sciences Humaines*, vol. XXXII, n° 2 : pp. 335-359.
- Louppe D. (1989). *Projet de recherche développement sur le rôle de l'arbre en exploitation agricole, rapport d'étape à la date du 15 juillet 1989*, Dakar, Isra-D.R.P.F. 65 p.
- Louppe D. (1989-a). *Note succincte sur les recherches en agroforesterie menées au Sénégal*, Dakar, Isra-D.R.P.F., 15 p.
- Louppe D. (1989-b). *Projet de recherche développement sur le rôle de l'arbre en exploitation agricole, rapport d'étape à la date du 15 juillet 1989*, Dakar, Isra-D.R.P.F., 35 p. + annexes.

- Louppe D. & Ouattara N. (1990). *Deux années de recherches à la station CTFT de Lataha*, Korhogo, C.T.F.T., 48 p.
- Louppe D. (1991-a). « Recherche forestière dans le Nord de la Côte-d'Ivoire », *Le Flamboyant*, n° 19 : pp. 19-21.
- Louppe D. (1991-b). « Réflexions sur les haies-vives et brise-vent en Nord Côte d'Ivoire (Région de Korhogo) », in *La forêt, patrimoine de l'avenir*, Congrès forestier mondial, Paris, sept. 1991, *Actes III*, R.F.F. (Revue Forestière Française) hors série, n° 3, Nancy (France) : pp. 129-135.
- Louppe D. & Ouattara N. (1993-a). « Création de haies-vives par semis direct : mise au point des techniques et transfert vers le milieu rural », in Some & de Kam (éd., 1993) : pp. 393-407.
- Louppe D. & Ouattara N. (1993-b). *Prétraitement à l'acide sulfurique et profondeur de semis*, Korhogo, Idefor-D.F.O., 8 p.
- Louppe D., Ouattara N. & Coulibaly A. (1996). *Idefor, Département foresterie, Division de recherches en zone de savanes, rapport annuel d'activités 1995*, Korhogo, Idefor-D.F.O., 32 p.
- Maudsley M.J., West T., Rowcliffe H., Marshall E.J.P. & Cooper A. (1997). « Spatial variability in plant and insect (Heteroptera) communities in hedgerows in Great Britain », in Power (éd., 1997) : pp. 229-236.
- Mohammed A.E., Stigter C.J. & Adam H.S. (1995). « Moving sand and consequences on and near a severely desertified environment and a protective shelterbelt », *Arid soil soil research and rehabilitation*, vol. IX, n° 4 : pp. 423-435.
- Nicoli G., Limonta L., Cavazzuti C. & Pozzati M. (1995). « Il ruolo dell siepi nell'ecologia del campo coltivato. I. Prime indagini sui Coccinellidi predatori di afidi », *Informatore Fitopatologico*, vol. XLV, n° 7-8 : pp. 58-64.
- Ouattara N. & Louppe D. (1993-a). « Prétraitement à l'acide sulfurique concentré de cins espèces ligneuses », in Some & de Kam (éd., 1993) : pp. 292-301.
- Ouattara N. & Louppe D. (1993-b). *Prétraitement à l'acide sulfurique et profondeur de semis*, Korhogo, Idefor-D.F.O., 8 p.
- Ouattara N. & Louppe D. (1998). « Les haies-vives dans les terroirs ruraux pour une sécurisation des exploitations (Nord Côte-d'Ivoire) », in Floret & Pontanier (éd., 1998) : pp. 195-208.
- Peltier R. (1988). *Résultats des essais sylvicoles : Mesures 1987-1988*, Centre de recherches forestières de Nkolbisson, antenne de Maroua (Cameroun), 241 p.
- Perez P., Albergel J., Diatta M., Grouzis M. & Sene M. (1997). « Rehabilitation of a semiarid ecosystem in Sénégal », 1, « Experiments at the hillside scale », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n° 65 : pp. 95-106.
- Power J., éd. (1997). *Species dispersal and land use processes*, Proceedings of the Sixth Annual Iale (UK) Conference, Ulster, UK, 9-11 sept. 1997.
- Power J., éd. (1997). *Species dispersal and land uses processes*, Proceedings of the sixth annual Iale (UK) conference, Ulster (UK), 9-11 sept. 1997.
- Raintree J.B. (1986). « Les voies de l'agroforesterie : régime foncier, culture itinérante et agriculture permanente », *Unasylva*, vol. XXXVIII, n° 154 : pp. 2-15.
- Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bory G. (éd.), (1993). *Physiologie des arbres et arbustes en zone aride et semi-arides*, Séminaire, Paris-Nancy (France), 20 mars-6 avr. 1990, Paris, John Libbey Eurotext, 489 p.
- Roussel J. (1995). *Pépinières et plantations forestières en Afrique Tropicale sèche. Manuel à l'usage des ingénieurs et techniciens du reboisement*, Dakar, Isra, 435 p.
- Sanogo D., Dia Y.K., Ayuk E. & Pontanier R. (1999). « Adoption de la haie-vive dans le bassin arachidier du Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : pp. 000-000.
- Some L.M. & de Kam M. (éd.) (1993). *La problématique des semences forestières, notamment en Afrique*, Symposium Iufro, Ouagadougou (Burkina Faso), 23-28 nov. 1992, Backhuys Publishers, Leiden (The Netherlands), 471 p.
- Schmutz T. (1994). « L'avenir des haies passe par un engagement des acteurs institutionnels », *Revue Forestière Française*, numéro spécial : *Agroforesterie en zone tempérée*, n° 46 : pp. 125-129.
- Simon S., Defrance H. & Rieux R. (1997). « Étude d'une haie composite et modes de conduite du couvert du sol dans un verger de poiriers », *IV^e Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture*, 6-8 janv. 1997, Montpellier (France), t. II : pp. 355-362.
- Some L.M. (1987). *Dormance et prétraitement des graines*, Ouagadougou, C.N.S.F., n° 0004/MET-SG/CNSF/T/90, 15 p.

- Stembert I. (1991). *Essais de prétraitements de graines d'espèces forestières tropicales en vue de la réalisation de haies-vives par semis mécanique*, travail de fin d'études d'ingénieur des Eaux et Forêts, Gembloux (Belgique), Faculté des sciences agronomiques de l'État, FSAGx-C.T.F.T.-C.I., 83 p. + annexes.
- Van Den Berg M. (1982). *Notes sur l'expérimentation des haies-vives dans le Tagazar*, Projet de diversification agricole et de haies-vives de Balléyara (Niger), 22 p.
- Van der Poel P., Kaya B. & Coulibaly A. (1988). *Méthode de plantation des boutures de l'Euphorbia balsamifera*, pas d'éditeur, n. p.
- Von Meidell H.J. (1983). « Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations », Eschborn, Allemagne, *Schriftenreihe der GTZ*, n° 147, 531 p.
- Weber F.R. & Hoskins M. (1983). *Agroforestry in the Sahel*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg (Etats-Unis d'Amérique).
- Zwölfer H. & Stechmann D.H. (1989). « Struktur und Funktion von Hecken in tierökologischer Sicht », *Verhandlungen*.

Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne

Abdoulaye Mando*, Robert Zougmore**, Prosper N. Zombré***, Victor Hien**

La dégradation des ressources naturelles demeure de nos jours un problème majeur pour le développement agro-sylvo-pastoral des zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest (Pontanier *et al.*, 1995). En effet, dans ces zones, les conditions climatiques très précaires, la pression démographique et l'état de pauvreté accrue des sols ne permettent plus un maintien de l'équilibre entre l'exploitation faite par l'homme des ressources naturelles et leur régénération dans le temps et dans l'espace (Van Der Poel & Kaya, 1992). Les fortes pressions humaine et animale sur le sol, les pratiques culturales inadaptées, ont contribué à l'aggravation du phénomène de dégradation des sols. La pratique de la jachère, même de courte durée, qui naguère permettait de régénérer les terres épuisées, est en train de disparaître devant l'insuffisance ou le manque de terres cultivables. Le rapport jachère sur champs cultivés est passé de 4 à 1,5 entre 1950 et 1990 au Burkina Faso (Mando, 1999). Les conséquences sont une disparition progressive de la végétation et une dégradation physique, biologique et chimique des sols qui ont abouti à une apparition et une extension de sols dénudés et recouverts de croûtes d'érosion. Dans les zones semi-arides et arides, ces sols dénudés constituent ce que nous appelons des « jachères dégradées ». Ce sont des jachères souvent très anciennes où les sols ont atteint une telle dégradation qu'une simple mise en jachère n'a pas été suffisante pour en assurer la réhabilitation.

Devant une telle situation de dégradation accrue des terres cultivables et donc de leur disponibilité, les paysans ont développé des initiatives pour pouvoir casser la croûte de battance et exploiter les jachères dégradées. Ainsi, des techniques comme le zaï, le paillage, les diguettes anti-érosives, les demi-lunes, les bandes de végétation, sont des techniques de plus en plus usitées au Sahel (Vlaar, 1992).

De nombreux travaux de recherche ont été menés dans la sous-région afin de comprendre les phénomènes de dégradation des sols et les processus de leur réhabilitation (Albergel *et al.*, 1995; Hien, 1995; Pontanier *et al.*, 1995; Sarr *et al.*, 1999). La recherche a eu aussi pour objectifs d'évaluer les impacts des techniques de réhabilitation et d'explorer les possibilités d'amélioration de ces techniques (Reij *et al.*, 1996; Ambouta *et al.* 1999; Ousmane *et al.*, 1999; Rajot *et al.*, 1999; Zombré *et al.* 1999).

* Institut national de l'environnement et la recherche agricole (Inera), Antenne sahélienne, 01 B.P. 5385, Ouagadougou 01 (Burkina Faso).

** Institut national de l'environnement et la recherche agricole (Inera), 03 B.P. 7192, Ouagadougou 03 (Burkina Faso).

*** Université polytechnique de Bobo-Dioulasso-Institut développement rural (I.D.R.), B.P. 1091, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

Le présent document a pour objectif de faire l'état des résultats obtenus dans le cadre des programmes de recherche sur la réhabilitation des sols des jachères dégradées des zones semi-arides. Les auteurs ont choisi d'ignorer les débats des écologistes sur les différences entre *réhabilitation*, *restauration* ou *régénération* (Schaffer, 1985 ; Allen, 1989 ; Aronson *et al.*, 1993) et utilisent indifféremment ces termes tout le long du texte.

Processus de dégradation

Dans les pays au sud du Sahara, la dégradation des sols compromet sérieusement les chances de l'agriculture de faire face aux besoins alimentaires, énergétiques et vestimentaires des populations toujours croissantes (Mando, 1998).

Les processus de dégradation les plus importants sont : érosion par l'eau et le vent, déstructuration des sols, appauvrissement des sols en éléments minéraux, acidification, salinisation, etc. Ces phénomènes ne peuvent être combattus avec efficacité qu'après une compréhension des processus en jeux. Il est donc nécessaire de bien comprendre les concepts écologiques tels que *stabilité*, *résilience des sols*, *fonctions et qualités des sols*.

Définition de quelques concepts

Les fonctions du sol

Les sols accomplissent un certain nombre de fonctions qui sont : fonction de production de biomasse, fonction de régulation et de protection de l'environnement, fonction d'habitat biologique et de réservoir de gènes.

Utilisation du sol

L'utilisation du sol peut être définie comme une jouissance temporelle et spatiale des fonctions du sol. Toutes les utilisations du sol ne sont pas toujours complémentaires ou compatibles dans une région donnée, mais elles sont souvent compétitives. La dégradation des sols résulte de l'utilisation abusive d'une fonction du sol au détriment des autres. Par exemple, la pratique agricole affecte gravement la biodiversité dans le sol et donc le cycle des éléments minéraux. Ainsi, la dégradation ne peut être considérée que par rapport à une utilisation donnée du sol. Un sol peut être dégradé pour la production forestière tout en restant utilisable pour la production pastorale. La notion de qualité du sol nous permettra de mieux cerner la notion de dégradation.

Qualités du sol

La qualité d'un sol vu sous l'angle agricole décrit sa capacité à fonctionner dans les limites d'un écosystème aménagé ou naturel afin de soutenir la production animale ou végétale, de maintenir, voire d'améliorer, la qualité de l'eau.

La qualité du sol décrit donc son efficacité à maintenir et à libérer des éléments minéraux et d'autres constituants chimiques, maintenir l'eau dans les nappes et rivières mais aussi la libérer pour les besoins des plantes, promouvoir et assurer la croissance racinaire, maintenir un habitat et répondre vite et bien à l'intervention humaine tout en résistant à la dégradation.

La notion de qualité du sol nous permet de mieux cerner la notion de dégradation qui peut simplement être définie comme une baisse de la qualité du sol. Un sol dégradé est donc un sol qui a perdu une ou plusieurs de ses qualités. La perte de qualité est liée à la résilience du sol, aux formes de gestion de ce sol (durable ou non) et aux conditions environnementales. Lal & Miller (1993) estiment qu'une base de donnée qui puisse permettre d'évaluer la

qualité d'un sol doit comprendre : sur le plan physique : structure du sol en relation avec la compaction ou encroûtement ; porosité et distribution de la taille des pores en relation avec la rétention, la disponibilité et la transmission de l'eau ; la profondeur d'enracinement en relation avec la zone où la plante peut puiser l'eau ou des nutriments ; Sur le plan chimique : teneur en matière organique et dynamique du carbone ; recyclage des nutriments et leur dynamique ; réaction du sol en relation avec l'acidification ou l'alcalinisation ; capacité de tampon ; sur le plan biologique : microfaune et cycle du carbone ; biotransformations (immobilisation, minéralisation, comminution, assimilation ; biodiversité.

La notion de résilience et de stabilité

Les écologistes définissent un système stable comme étant celui qui ne change pas ou qui change très lentement dans le temps en réponse à une pression extérieure (Holling, 1973). La résilience est donc la capacité du système à absorber les effets d'une perturbation sans qualitativement changer son comportement ou sans perdre ses fonctions et (ou) ses qualités.

La résilience d'un sol définit son inertie ; c'est sa capacité à se restaurer ou à se guérir après avoir subi des dommages suites à des perturbations externes. Elle définit aussi la capacité du sol à répondre à l'aménagement. La résistance elle, caractérise la vitesse d'altération du sol suite à une pression. La résilience d'un sol lui permet d'équilibrer les processus de dégradation et de restauration qui affectent ce sol, elle est une adaptation évolutive du sol en réponse à des perturbations. Elle provient de la présence dans le sol d'un nombre de mécanismes (recyclage des éléments minéraux, activité de mine des animaux) et elle est le résultat des interactions des différentes composantes biologiques, physiques et chimiques du sol. Il faut noter que la résilience dépend fortement des types de sol et des conditions environnementales.

La résilience étant liée à des pressions externes, il est évident que la nature des activités humaines supportées par le sol est déterminante pour sa résilience. Il est souvent très important de considérer la manière dont certaines perturbations externes agissent sur un sol quand on veut étudier sa résilience ; l'intensité de la perturbation, le temps pendant lequel la perturbation est appliquée au sol et les fréquences de la perturbation sont des facteurs très importants à examiner.

La situation où la perturbation (nature, fréquence, intensité) conduit à un état au-delà duquel le retour à l'état de départ n'est plus possible dans un intervalle de temps convenable est dite seuil d'irréversibilité (William *et al.*, 1993). Ce seuil à la fois économique et écologique est important pour la définition de la durabilité et de la dégradation.

Dégradation

Un sol dégradé est un sol qui est passé à travers un ou plusieurs seuils d'irréversibilité. À ce stade, le sol ne peut plus assurer une ou plusieurs de ses fonctions. D'un point de vue agricole, la dégradation se traduit par la perte de la productivité actuelle ou potentielle du sol. Cela implique une baisse inhérente des capacités du sol à produire des biens économiques ou à assurer ses fonctions de régulations environnementales. Les types de dégradation liés à l'agriculture sont de trois catégories : chimique, biologique et physique (Roosé, 1994).

Étude de quelques types de dégradation

Nous n'aborderons que deux types de dégradation à savoir l'appauvrissement du sol en éléments minéraux et l'encroûtement des sols. Ces derniers sont d'une part grandement responsables de l'insécurité alimentaire dans la sous-région et cause indirecte de beaucoup d'autres formes de dégradation comme les érosions hydrique et éolienne.

Appauvrissement du sol en éléments minéraux

L'appauvrissement du sol en éléments minéraux avec ses corollaires (baisse de rendement...) est une grande préoccupation dans les régions sahéniennes. La cause fondamentale provient d'une combinaison de l'accroissement de la population, de la disponibilité limitée en terres arables, de la faible disponibilité de capitaux pour l'achat d'intrants et souvent d'une mauvaise gestion des sols (agriculture itinérante sur brûlis, exportation de tous les résidus de récoltes, etc.). Le problème d'appauvrissement des sols en éléments minéraux se rencontre en zone humide comme en zone sèche. Beaucoup de facteurs et (ou) processus sont responsables de la baisse de la qualité des sols vue sous l'angle nutrition minérale des plantes (tableau I). L'objectif de la gestion des sols se doit d'assurer que les éléments nutritifs perdus par les différents processus ne conduise pas le sol à traverser un seuil d'irréversibilité.

Tableau I. Paramètres des intrants et extrants déterminant le bilan des éléments minéraux.

Intrants	Extrants
1 Engrais chimique	1 Produits végétaux et animaux
2 Fertilisation organique Fumure Compost Résidus de récolte	2 Résidus de récolte (si enlevés)
3 Dépôts humides et secs Sédiments d'origine hydrique Sédiments d'origine éolienne	3 Lessivage
4 Fixation d'azote ou phosphore	4 Volatilisation
5 Sédimentation	5 Erosion Transport hydrique Transport éolien Perte en terre.

Encroûtement des sols

Le terme *encroûtement des sols* renvoie aux processus de formation et aux conséquences d'une fine couche à la surface du sol qui réduit la porosité et augmente la résistance à la pénétration du sol. Cette couche dite *croûte* réduit grandement l'infiltration et augmente donc le ruissellement et les risques d'érosion en rigole ou en ravine. De plus, les croûtes empêchent fortement la levée de graines (Valentin, 1994). Morin (1993) affirme que l'encroûtement est une caractéristique assez commune des sols dans les pays sahéniens. C'est une conséquence ou une cause de la dégradation des terres. La dégradation de la structure de surface provient de facteurs climatiques, édaphiques et humains. Les facteurs prédominants sont : le faible taux de matière organique des sols ; l'impact de la forte battance des gouttes de pluie lors des averses torrentielles ; la mauvaise structure de surface des sols cultivés ; la destruction importante de la couverture végétale qui protège la surface du sol de l'agressivité des grosses averses.

Processus de dégradation du sol dans une exploitation agricole traditionnelle

Selon Roose (1994), la nature profonde de la dégradation des terres cultivées se voit à travers le déséquilibre du bilan des matières organiques et minérales, induit par le défrichage et les travaux culturaux et accéléré par le ruissellement, l'érosion et la lixiviation par les eaux de drainage. La culture entraîne nécessairement une simplification de l'écosystème, une réduction de production de biomasse, en particulier des litières et, par conséquent, la réduction du taux de matières humiques du sol, des activités biologiques de la mésofaune et de la structure des horizons superficiels. Il s'ensuit une augmentation des risques de ruissellement, d'érosion et de lixiviation des éléments nutritifs. La dégradation des sols sous culture en milieu traditionnel peut être théoriquement divisée en cinq étapes (Mando, 1992 et Stroosnijder, 1992), qui conduisent au passage à un seuil d'irréversibilité.

Étape 1 : Rupture de l'équilibre de l'écosystème naturel ou agricole suite le plus souvent à une surexploitation de la production primaire. Ce déséquilibre se traduit par :

- la rupture de la compensation de la matière organique du sol qui est perdu à cause de la décomposition et d'autres phénomènes comme l'érosion.
- la perte de la protection du sol contre les agents de dégradation physique du sol (eau, vent).

Étape 2 : On assiste surtout à la disparition de la fraction labile de la matière organique du sol. La teneur de la matière organique à cette étape est toujours suffisante pour assurer convenablement le maintien des propriétés physiques du sol. Seulement la quantité et la nature de plus en plus stable de la matière organique ne permettent pas une restitution à une vitesse convenable de quantité suffisante d'éléments nutritifs aux plantes par minéralisation de la matière organique. Il s'ensuit alors une baisse de la fertilité chimique du sol et de la productivité primaire, exposant de plus en plus le sol à l'érosion par le vent et l'eau ainsi qu'à l'encroûtement.

Étape 3 : Celle-ci est marquée par la réduction beaucoup plus importante de la matière organique due non seulement à la disparition de la fraction labile, mais aussi de plus en plus de la fraction stable. Les manifestations en sont non seulement l'aggravation du déficit en éléments nutritifs mais également la réduction des liants des agrégats et l'augmentation de la susceptibilité de l'argile à se disperser. Tout cela engendre une migration et éluviation de l'argile et une altération des propriétés physiques du sol.

Étape 4 : À ce niveau, la baisse de la matière organique et ses conséquences cumulées auxquelles s'ajoutent les effets de la dégradation physique ont dépassé le seuil du supportable. On a alors la déstructuration complète des sols, la réduction à néant de la production primaire ainsi que de la capacité d'autorégulation du sol, et une augmentation du ruissellement et de l'érosion.

Étape 5 : À ce stade le sol déjà dégradé évolue dans sa dégradation et peut même atteindre un seuil de non retour. On assiste à une accumulation des phénomènes de dégradation : encroûtement, érosion...» Au Burkina Faso, le paysan note à ce stade l'apparition des *zipellés* dans son champ. Ce sont des zones sans végétation, encroûtées encore appelées *hardés* au Cameroun, *walla walla* au Mali (Floret, *comm. pers.*).

Quelques caractéristiques des jachères dégradées

Les *zipellés* (sols encroûtés et dénudés) se développent sur divers types de sols, mais surtout sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés ou lessivés à taches et concrétions. Ils sont marqués par une dégradation accrue de leurs propriétés chimiques se traduisant par des pH souvent acides, des déficiences sévères en nutriments tels que le phosphore, l'azote et le potassium, un complexe absorbant désaturé et de très faibles valeurs de capacité d'échange cationique (C.E.C.) et de somme des bases échangeables (Kaboré, 1994).

Les jachères dégradées sont caractérisées par l'absence ou la non-abondance de végétation, l'encroûtement et le durcissement en surface ; ce sont des surfaces où l'érosion s'est manifestée de manière notable. Elles ont un coefficient d'infiltration variant de dix à quarante pour cent selon les variantes et une intensité d'infiltration allant de deux à quatre millimètres par heure alors que les coefficients d'infiltration sont de l'ordre de soixante à cent pour cent sur sols cultivés au Burkina Faso dans la zone soudanienne et sub-sahélienne (Casenave & Valentin, 1989).

Les travaux de Kaboré (1994) en zone sahélienne du Burkina Faso donnent des informations sur les *zipellés* (tableau II). En procédant par une caractérisation morphopédologique et par une description des états de surface d'une zone végétalisée et d'un *zipellé*, il n'a pas été observé de relation directe entre *zipellé* et type de sol. C'est beaucoup plus une résultante d'une conjonction de facteurs qui influent non seulement sur les propriétés physico-chimiques du sol, mais aussi et surtout sur ses caractères morphologiques (structure, texture, porosité, perméabilité, etc.).

Tableau II. Différences entre zone végétalisée et *zipellé*.

	Zone végétalisée	Zipellé
Profil pédologique	Tronqué et recouvert	Tronqué et nu
Etats de surface	Tous les types de croûtes	Erosion et/ou grossière
Capacité d'infiltration	Bonne	Moyenne à faible
Macroporosité	Bonne	Faible
pH	moyennement acide	Fortement acide
CT	Faible	Très faible
Somme des bases	Moyenne	Pauvre

Source : Kaboré (1994).

Toujours selon Kaboré (1994), au Burkina Faso et sur sol brun ou ferrugineux, l'aspect superficiel du sol des jachères dégradées est marqué par la prédominance des croûtes d'érosion et des croûtes grossières. L'érosion hydrique est forte (ravinante par endroit), conduisant à un décapage de l'horizon supérieur. Le pourcentage élevé (supérieur à 50 p. cent) des argiles et des limons dans cette couche de sol indique bien qu'il s'agit déjà d'un horizon B et que les profils de sol observés sont tronqués. Des analyses micromorphologiques ont montré que la macroporosité totale est plus faible dans les sols nus où la structure de surface est colmatée (Mando & Miedema, 1997). Les sols végétalisés présentent de grands pores avec des formes irrégulières, tandis que pour les sols nus, ils sont petits et arrondis (Kaboré, 1994).

Réhabilitation des jachères dégradées

Dans un contexte de pression démographique, d'appauvrissement des ressources en sols qui constitue la cause fondamentale de la baisse des rendements agricoles dans les régions du Sahel, les décideurs et les populations de la région n'ont d'autres choix que d'entreprendre des mesures pour réhabiliter les sols dégradés qui ne sont plus utilisables pour la culture avec les techniques traditionnelles. Ces mesures sont rendues nécessaires par le fait que de

nombreux facteurs tels que le degré de dégradation très avancé des sols et la pression démographique compromettent les chances de la jachère pure (c'est-à-dire sans mesure d'accompagnement) d'être une technique viable de réhabilitation des sols dans la zone semi-aride. Dans cette section, nous allons tour à tour examiner la notion de réhabilitation, présenter les grands objectifs scientifiques de la réhabilitation et de quelques techniques éprouvées dans la zone puis conclure notre propos en insistant sur l'impérieuse nécessité d'adopter une approche holistique pour résoudre les problèmes de dégradation.

Concept de réhabilitation

La réhabilitation est l'ensemble des processus qui conduisent à l'arrêt de la dégradation, d'une part, et au rétablissement de la résilience et à la réparation des fonctions du sol qui avaient été détruites ou amoindries par les processus de dégradation, d'autre part. Il ne s'agit pas de la réparation de toutes les fonctions du sol mais de celles qui intéressent l'aménagiste. Selon le degré de la dégradation, c'est-à-dire le nombre de seuils d'irréversibilité traversés par le sol, la réhabilitation nécessitera une simple suppression des causes de la dégradation ou une intervention de l'homme pour lever les blocages dans le système.

En somme, la réhabilitation d'un sol est, selon Lal (1997), le résultat de l'interaction de quatre phénomènes (figure 1) : la résilience du sol, qui lui permet de contrecarrer les facteurs de dégradation et de répondre à l'intervention de l'homme quand il souhaite améliorer certains attributs de la qualité du sol ; la qualité actuelle du sol, qui se caractérise par le nombre de seuils d'irréversibilité traversés par celui-ci ; les formes, modes et calendriers des interventions du gestionnaire du sol ; les conditions environnementales (type de sol, climat) qui prévalent sur le site.

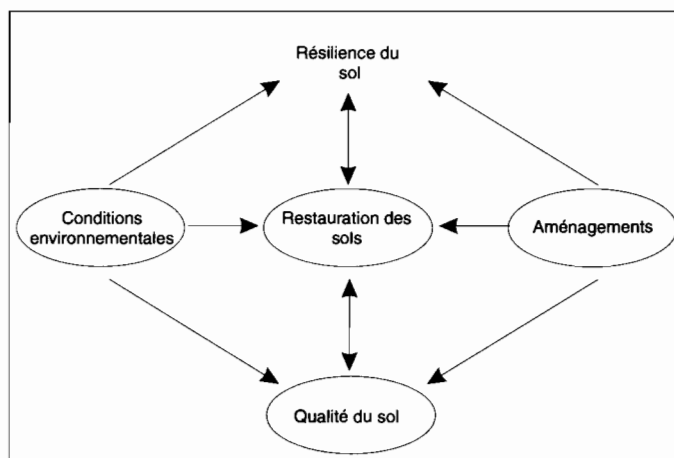


Figure 1. Interaction des facteurs en jeu dans la réhabilitation des sols.

Démarches pour la réhabilitation des terres agricoles

La réhabilitation des terres agricoles a pour objet de rétablir la capacité du sol à produire des biens économiques. La production primaire est grandement contrôlée par les interactions entre disponibilité en eau et disponibilité en éléments minéraux dans le sol. La réhabilitation nécessite donc que soit créées des conditions pour assurer une infiltration effective de l'eau et son maintien dans le sol et pour assurer le rétablissement des cycles des éléments

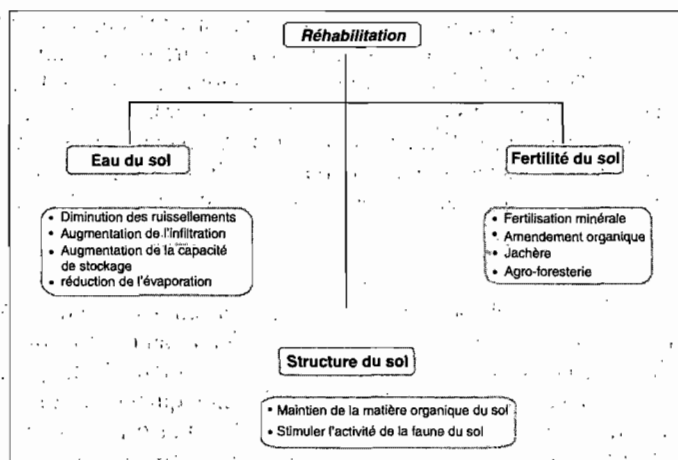


Figure 2. Démarche pour la réhabilitation des sols dégradés.

minéraux et d'un complexe où s'effectuent le maintien et la libération des éléments minéraux. La figure 2 présente une démarche pour la réhabilitation des sols dégradés dans un contexte où le manque d'eau et des éléments minéraux sont les contraintes à lever. Ce sont les formes de dégradation les plus fréquentes dans la zone semi-aride, mais il faut également noter qu'il y a des cas de dégradation liées à un excès d'eau ou de certains éléments chimiques (hydromorphie, acidité toxicité ou pollution liée à certains produits, etc.).

Techniques de restauration des terres dégradées

Plusieurs techniques permettent d'influencer le bilan d'eau du sol, sa structure et sa fertilité. Ces techniques ont été introduites, ou sont traditionnellement utilisées, dans la zone semi-aride. Nous présentons ici quelques-unes d'entre elles.

La mise en défens

Le but de la mise en défens (M.E.D.) est de réhabiliter les sols par l'interdiction temporaire des communautés riveraines de jouer des fonctions de production de ces sols. Elle est fondée sur le principe que lorsque la cause de dégradation d'un sol est supprimée, le sol est, en fonction de sa résilience, en mesure de recouvrir ses qualités après un certain temps. Une mise en défens est donc une jachère qui est protégée contre les autres formes de pressions liées aux activités humaines (pâturage, feu de brousse, coupe de bois).

Il faut cependant noter que la mise en défens, parce que s'appuyant exclusivement sur la résilience du système et surtout sur la présence d'un minimum de couvert n'est pas une mesure appropriée pour des surfaces nues et encroûtées. Dans de tels cas, des mesures d'accompagnement sont indispensables pour accélérer les processus de réhabilitation. Par ailleurs, l'installation d'une mise en défens requiert un processus plus ou moins long de négociation entre les communautés riveraines, communautés qui le plus souvent sont en compétition pour l'utilisation de l'espace. Les mises en défens ne sont envisageables que dans le cadre d'aménagement régional ou de bassins versants.

Pour la mise en œuvre des techniques de mise en défens, une approche participative est indispensable pour permettre une négociation entre toutes les communautés en vue d'assu-

rer la mise en œuvre pratique de la technique, mise en œuvre qui doit inclure des formes de punitions pour les éventuels contrevenants. Plusieurs mises en défens ont été étudiées dans la zone de notre étude. On peut citer les mises en défens de Djibo (Rochette, 1989), Oursi (Toutain, 1980) comme des expériences réussies. On peut également citer les cas des mises en défens de Sine Saloum et de Keur Dianko au Sénégal (Diatta, 1994 ; Albergel *et al.*, 1999).

Mise en défens et réhabilitation de la végétation

La protection intégrale d'une zone dégradée entraîne une régénération du couvert végétale avec une amélioration de la production primaire et une modification de la structure de la végétation (Diatta & Faye, 1997 ; Peltier & Eyog-Matig, 1989 ; Yossi *et al.*, 1998 ; Diatta, 1994 ; Rochette *et al.*, 1989). Cette section présente les résultats obtenus par Kessler *et al.* (1997). La mise en défens a été installée dans la zone méridionale du Sahel avec une pluviométrie moyenne sur vingt ans de moins de six cent millimètres. Pendant les cinq ans d'expérience, on a obtenu des résultats remarquables en matière de régénération de végétation (tableaux III et IV).

Durant la période d'étude, la couverture des herbacées et celle des couronnes des arbres ont augmenté respectivement de deux cent vingt-neuf pour cent et quatre-vingt-douze pour cent dans la mise en défens, pendant que l'étendu des zones nues diminuait de quarante-trois pour cent dans la même zone.

Les parcelles témoins ont connu des changements similaires à cause sans doute de l'effet de leur proximité d'avec la mise en défens qui leur procure une certaine protection. Cependant, la croissance de la végétation dans la mise en défens est significativement plus élevée.

Tableau III. Comparaison entre le développement de la végétation dans une mise en défens (MED) et celui d'une parcelle témoin (T).

	1990		1994		% change 90-94	
	MED	T	MED	T	MED	T
Couverture couronne des ligneux	13,39	13,4	25,63	15,9	+ 92	19
Couverture des zones nues	63,83	63,2	35,93	50,9	- 43	- 19
Couverture des herbacées	18,98	19,4	62,3	46,9	+ 229	+ 113
Chevauchement herbacée /ligneux	6,0	6,2	23,8	12,9	+ 387	108

Source : Kessler *et al.* (1997)

Tableau IV. Densité à l'hectare des arbres par classe de hauteur.

Classe de hauteur	1990	1991	1992	1994	variation 1990-1992
0-0,5 m	79	207	857	6414	*81
0.5-2 m	171	229	321	329	+92 %
2-7 m	114	143	193	293	+157 %
> 7 m	1	1	1	3	*3

Source : Kessler *et al.* (1997)

L'augmentation du couvert végétal des ligneux est due à l'apparition de plantules par voie de germination et de drageons ou est due à la croissance latérale des arbres et aux rejets des arbustes. L'augmentation de la couverture des ligneux est plus importante pour les arbres de classe de hauteur inférieure à cinq mètres (tableau IV). Une étude de Diatta & Faye (1997) au Sénégal dans une zone soudano-sahélienne indique une proportion plus importante de légumineuses ligneuses dans la mise en défens ; seize à vingt-cinq pour cent des espèces dans les parcelles en défens contre douze à seize pour cent des espèces dans les témoins. En outre, l'étude indique une amélioration de la composition du spectre floristique, une augmentation de cinquante pour cent en moyenne de la richesse spécifique pour la strate ligneuse et une multiplication de la densité des ligneux par un facteur de 2,4. La phytomasse ligneuse a été multipliée par un facteur de six. Enfin ces auteurs ont noté une amélioration des paramètres biométriques de la végétation herbeuse.

Mise en défens et bilan d'eau

L'amélioration du couvert végétal dans une mise en défens est accompagnée de l'amélioration des propriétés hydrodynamiques des sols (Albergel *et al.*, 1995 ; Spaan & Van Dijk, 1998 ; Albergel *et al.*, 1999). Une étude menée par Albergel *et al.* (1995) a montré que la mise en défens réduit le ruissellement par un facteur trois et l'érosion par un facteur pouvant aller jusqu'à onze (tableau V).

Tableau V. Comparaison du ruissellement et de l'érosion sur parcelle mise en défens et témoin.

Date	Pluie (mm)	Pluie sol (mm)	RUSA	Défens Lr (mm)	Témoin Lr (mm)	Défens Erosion mg l ⁻¹	Témoin Erosion mg l ⁻¹
1991	460,2	486,5	52,5	159,5	318,8	119,8	463,9
1992	587,9	641,3	46,2	149,8	563,6	163,3	685,0
1993	728,3	796,4	67,4	220,3	728,0	370,6	4 087,4

Source : Albergel *et al.* (1995)

Lr : Lane ruisselée.

RUSA : indice d'agressivité des pluies annuelles.

Mise en défens et fertilité des sols

La réhabilitation du sol pendant la mise en défens est principalement le résultat du recyclage des éléments minéraux contenus dans les organes des végétaux ligneux (Manlay & Masse, 1998). Ces éléments minéraux proviennent des ligneux qui, pendant la période de jachère, ont assimilé sous forme d'organes divers (feuille, fleurs, racines) des nutriments qu'ils ont pu pomper des horizons profonds du sol. Le recyclage se fait par décomposition qui, elle-même est gouvernée par les conditions environnementales locales et la qualité chimique du matériel organique (Sanchez *et al.*, 1989 ; Abbadie *et al.*, 1992 ; Mando & Brussaard, 1999). Il faut toutefois noter qu'il y a de moins en moins de végétation ligneuse ou même herbacée sur les jachères dans les zones semi-arides. Dans ces cas de figure, le mécanisme prépondérant dans la réhabilitation des sols n'est pas la décomposition mais la capture de sédiments éoliens par la végétation éparsse qui se trouve sur la jachère (Rajot, 1999). Ces sédiments, qui sont d'origine lointaine ou proche, enrichissent le sol en nutriments. Sterk (1997) et Drees *et al.* (1993) indiquent que la capture de sédiments peut apporter six kilogrammes par an et par hectare de calcium (Ca) un kilogramme par an et par hectare de sodium (Na), huit kilogrammes par an et par hectare de magnésium (Mg), quinze

kilogrammes par an et par hectare d'azote et 1,6 kilogramme par an et par hectare de phosphore (P).

L'efficacité d'une mise en défens sur la fertilité des sols a été testée par Manu *et al.* (1994) sur un sol sableux au Niger. Le sol a été mis en défens après cinq ans d'exploitation continue en mil. Il en est résulté une amélioration de la fertilité du sol dont une augmentation de plus de soixante-cinq pour cent de la teneur en phosphore assimilable (tableau VI).

Tableau VI. Influence d'une mise en défens (MED) sur la fertilité des sols.

	MED	Site adjacent
pH (Kcl)	4,6a	4,5a
P-Bray (mg kg ⁻¹)	3,8a	2,26b
N-total (mg kg ⁻¹)	130a	60b
C-total (%)	0,15a	0,06b
K (cmolc kg ⁻¹)	0,12a	0,09b
Ca (cmolc kg ⁻¹)	0,70	0,49b
Mg (cmolc kg ⁻¹)	0,29	0,20a

Source : Manu *et al.* (1994).

Les traitements d'une même ligne ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents à 0.05.

Le paillage

La technique de paillage est très ancienne et très répandue dans la région sub-sahélienne. Elle consiste à couvrir le sol d'une couche de matière organique de quantité et de qualité variées. La paille contribue à l'amélioration de la structure du sol, à réduire l'évaporation et à augmenter l'infiltration (Amboutta *et al.*, 1999 ; Zombré *et al.*, 1999). Elle contribue à améliorer la fertilité du sol quand le rapport carbone/azote du paillis est bas, et à immobiliser les éléments minéraux quand il est élevé.

L'une des contraintes majeures pour l'utilisation du paillage dans les régions semi-arides est la forte compétition pour l'utilisation des résidus des végétaux. Ils sont utilisés pour la confection de toits de chaume ou d'objets artisanaux, pour l'alimentation du bétail (composante essentielle de l'économie des zones semi-arides) mais aussi, comme source d'énergie domestique. Dans un tel contexte, l'allocation de résidus pour la protection des sols est souvent difficile (Mando, 1999). Dans les régions sub-humides, les feux de brousse sont cause de la disparition de la paille et sont donc un facteur limitant l'utilisation du paillage. Une bonne gestion des feux de brousse et une bonne intégration de l'élevage à l'agriculture sont les conditions à remplir pour assurer le maintien de la technique du paillage dans la zone semi-aride.

Paillage et structure du sol

L'application de matière végétale sous forme de paillis sur un sol dénudé dans la zone semi-aride attire des termites (Chase *et al.*, 1987 ; Mando, 1997-a ; Léonard & Rajot, 1998 ; Sarr *et al.*, 1999). Sous le paillis, les termites construisent des placages qui améliorent l'agrégation du sol (Mando & Midiema, 1997). Ils creusent des galeries de stockage d'aliments, des nids et des passages allant des nids aux paillis, lesquels passages s'ouvrent à la surface du sol sous forme de macropores (tableau VII). Les dimensions de ces macropores varient de deux millimètres de diamètre à plusieurs centimètres selon l'espèce de termites en

Tableau VII. Effet du paillis sur le nombre de biopores d'origine termitique.

Type de paillis	Nombre de macropores par mètre carré
Composite (bois +paille, 4 t ha ⁻¹)	126 a
Bois (6 t ha ⁻¹)	68 a
Paille (3 t ha ⁻¹)	63 a
sol nu	0 b

Source : Mando (1997a)

présence (Kooyman & Onck, 1987). La présence de macropores de termites dans un sol sous paillis s'observe tout le long du profil et ces macropores contribuent pour plus de soixante pour cent de la macroporosité au niveau de l'horizon zéro-vingt centimètres (Mando & Midiema, 1997). Les biopores sous le paillis améliorent la porosité totale du sol, augmentent la conductivité hydraulique saturée et ameublissent les horizons compactés (Mando, 1997b). Il en résulte une amélioration de la structure du sol, une augmentation de l'infiltration (Sarr *et al.*, 1999, tableau VIII) et une amélioration du stockage d'eau dans le sol (Mando, 1997 a).

Tableau VIII. Influence du paillis, des termites et de la végétation sur le taux d'infiltration.

Traitement	1995	1996	Différence 95-96
Croûte d'érosion	19 ± 11	26,5 ± 6	7,5
Paillis sans termite ni végétation	19,7 ± 10	42,9 ± 7,7	23,2**
Paillis + termite sans végétation	50,2 ± 26	66,3 ± 12,0	16
Paillis + végétation + termite	53,0 ± 21,7	75 ± 14,3	22,2*

Source : Léonard & Rajot (1998)

Paillage et collecte de particules

L'application de paillis dans les zones semi-arides du Sahel où l'érosion éolienne est présente entraîne une accumulation de particules sous forme de sédiments sous le paillis (Sterk, 1997 ; Léonard & Rajot, 1998 ; Mando & Stroosnijder, 1999). La capacité d'un paillis à capter des sédiments est fonction des vitesses des vents et du taux de couverture du paillis (Sterk, 1997). Les sédiments enrichissent chimiquement le sol (Sterk, 1997), augmentent l'infiltration lorsqu'ils ne sont pas déposés sur une croûte (Mando & Stroosnijder, 1999) et piègent des semences végétales (Chase *et al.*, 1987).

Paillage et restauration de la végétation des sols dénudés

Le paillage entraîne la réhabilitation de la végétation dès la première année d'application (Léonard & Rajot, 1998 ; Mando *et al.*, 1999). Le paillis peut permettre un développement de végétation pouvant couvrir complètement un sol nu dans un délais de deux ans (tableau IX). Cette performance de la végétation sous paillis est la réponse de celle-ci à l'effet du paillage sur l'amélioration de la structure du sol et sur la disponibilité de l'eau et des nutriments dans le sol. Une analyse de régression intégrant réhabilitation de la végétation, les sédiments éoliens collectés par le paillis, structure du sol, biopores et infiltration faite par Mando &

Tableau IX. Effet des termites et du paillage sur la végétation.

Traitement	% de recouvrement			Biomasse (t.ha ⁻¹)			Nombre d'espèces			Nombre de ligneux 1995
	1993	1994	1995	1993	1994	1995	1993	1994	1995	
TS	20,9a	114,7a	86,7a	**	3,7a	2,9a	(3-13)a	(11-25)a	(26-35)a	417a
TC	11,2a	76,8b	222,0a	**	3,3a	3,9a	(1-15)a	(8-18) a	(18-32)a	665a
TW	11,2a	68,9b	124,2a	**	2,4a	3,1a	(1-15)a	(5-11) a	(18-30)a	417a
NTS	4,7b	30,7c	83,6b	**	1,4a	1,3b	(1-8) a	(6-10) a	(8-21) a	0a
NTC	8,2b	21,5c	69,0b	**	1,4a	1,1b	(1-7) a	(6-14) a	(6-20) a	0a
NTW	1,9b	33,1c	35,5b	**	1,2a	0,5b	(0-6) a	(2-12) a	(8-24) a	0a
Ba	0,0b	0,3 c	0,0c	**	0,0b	0,0b	0 a	(0-2) a	0a	0a

Source : Mando *et al.* (1999), adapté

TS= termites+paille, TC= termites+paille+bois; TW= termites+bois; B=sol nu (témoin); NTS= paille sans termites, NTC= paille+bois sans termites; NTW=bois sans termites. Les traitements de la même colonne ayant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents

Stroosnijder (1999) dans la zone septentrionale du Burkina Faso, a montré le rôle prépondérant des biopores et donc des termites sur la régénération de la végétation sur sols encroûtés sous paillis.

Le zaï

En mooré, *zaï* vient de *zaïgré* qui veut dire « se lever tôt et se hâter pour préparer sa terre » ou encore « casser et émietter la croûte du sol avant les semis » (Kaboré, 1994; Roose *et al.*, 1995). Cette technique est appelée *tassa* au Niger ou encore *towalen* au Mali. Il s'agit en effet de récupérer des terres abandonnées, dégradées, complètement dénudées, décapées et encroûtées où le ruissellement est si fort qu'il emporte les graines et les résidus organiques qui pourraient régénérer la jachère. Selon les mêmes auteurs, le *zaï* aurait été utilisé anciennement notamment au Yatenga (Burkina Faso) par les agriculteurs les moins nantis ne disposant que de terres pauvres et de peu de moyens de production.

Pratique traditionnelle de nos jours très répandue dans la zone sahélo-soudanienne, le *zaï* a fait l'objet de nombreux travaux de recherche et d'étude d'impact (Roose *et al.*, 1993; Maatman *et al.*, 1998; Reij *et al.*, 1996; Amboutta *et al.*, 1999; Zougmore, 1995 et Zombré *et al.*, 1999). C'est une technique à haute intensité de main d'œuvre mais qui assure une gestion efficiente de la matière organique et de l'eau. Elle consiste à creuser des cuvettes de vingt à quarante centimètres de diamètre et de dix à quinze centimètres de profondeur. La taille des cuvettes et leur espacement varient selon le type de sol et selon les régions : elles ont tendance à être plus grandes sur les sols gravillonnaires qui sont peu perméables que sur les autres types de sol (sablo-argileux ou limono-argileux). On observe de manière pratique que plus les cuvettes sont grandes, plus l'espacement entre elles est grande. Dans ces cuvettes sont piégées des sables, des limons et des matières organiques déplacés par les vents secs (harmattan). La terre excavée est déposée en croissant vers l'aval du creux et cela aide à capter les eaux de ruissellement. Cette collecte d'eau est favorisée par l'impluvium constitué par les parties encroûtées restantes. Un cordon pierreux de protection est en général aménagé en amont du champ pour réduire la vitesse des ruissellements sur ces terres encroûtées. Les cuvettes de *zaï* sont creusées pendant la saison sèche (novembre à mai). La matière organique y est ensuite apportée en quantité variable selon les paysans (une poignée de main soit environ 600 g/trou) sous forme de fumier ou de compost avant la période des semis.

De nombreux travaux de recherches sur la réhabilitation des sols dégradés sont actuellement en cours dans le cadre du Programme Jachère (Zombré *et al.*, 1999 ; Ambouta *et al.*, 1999). En plus des résultats préliminaires obtenus sur les différents sites de recherche, d'autres travaux et études menés çà et là permettent de réaliser une première synthèse.

Amélioration des caractéristiques physico-chimiques des sols dégradés

Quelques résultats sur le suivi de l'humidité du sol ont été collectés par Zougmore (1995) dans le Passoré au Burkina Faso. Une comparaison a été faite entre différentes pratiques de *zai* rencontrées dans ce milieu. Les résultats montrent que l'humidité est plus importante dans les poquets de *zai* que dans les espaces inter cuvettes (tableau X). Du fait de l'apport de matière organique dans les cuvettes, il s'effectue une amélioration de l'activité des termites et partant, une amélioration de la structure du sol par les chenaux qu'elles creusent (Mando, 1997-a).

Zai et production agricole

La plupart des travaux publiés ont montré que le *zai* est une technique prometteuse. Ainsi, Roose *et al.* (1995) ont trouvé que la cuvette seule (sans aucun apport minéral ou organique) permettait dès la première année de doubler les rendements en grains par rapport au témoin (semis selon la méthode traditionnelle à la *daba*). Toutefois, ces rendements sont très faibles (inférieur à 100 kg.ha⁻¹) même avec un apport de feuille fraîche de *Azadirachta indica* (C/N = 23) à la dose de trois tonnes à l'hectare. En revanche, l'addition dans la cuvette de compost ou de fumier à la même dose permet d'obtenir un rendement plus important (800 kg.ha⁻¹). L'adjonction au compost d'engrais minéraux ou leur apport seul dans les cuvettes entraînent de meilleures productions. Au cours de deux années d'expérimentation menées par Kaboré (1994), l'apport d'engrais (azote, phosphore, potassium) dosé à quatre-vingts kilogrammes

Tableau X. Effet de différentes méthodes de *zai* sur le taux d'humidité pondéral de sol (Hr en %) Nionigo, 1994.

	Hr-profondeur 0-10 cm		Hr- profondeur 10-20 cm		Hr-profondeur 20-40 cm	
	dans cuvette	hors cuvette	dans cuvette	hors cuvette	dans cuvette	hors cuvette
Témoin	19,37	18,18	23,79	22,94	19,15	18,66
<i>Zai</i> seul	28,53	19,73	22,09	25,03	18,48	19,79
<i>Zai</i> en quinconce	29,21	19,14	26,32	25,88	25,44	23,99
<i>Zai</i> + paillage	31,50	20,03	25,64	23,94	23,28	23,32
Paillage seul	21,14	18,84	24,35	28,50	26,59	23,88
<i>Sed Zone</i>		0,58		0,93		1,08
<i>Sed traitement</i>		1,44		1,39		1,89
<i>Sed zone</i> × <i>traitement</i>		1,91		1,99		2,63
<i>Prob. Zone</i>		0,001		0,44		0,58
<i>Prob. traitement</i>		0,001		0,12		0,004
<i>Prob. Zone</i> × <i>traitement</i>		0,003		0,18		0,86
<i>cv zone</i> (%)		3,6		5,3		6,9

Source : Kambou & Zougmore (1995)

Prob. : probabilité F

Sed : standard error of differences of means/erreur standard des différences entre les moyennes

cv (%) : coefficient of variation

à l'hectare ou son association au compost a permis d'atteindre neuf cents kilogrammes à l'hectare de sorgho sur un *zipellé* de type gravillonnaire contre six cent quatre-vingt-dix kilogrammes à l'hectare avec le compost uniquement. Des résultats similaires ont été obtenus sur le site de Nioniogo (Zougmore, 1995) où la combinaison du *zaï* au paillage s'est révélée plus intéressante que le *zaï* seul et le paillage seul (tableau XI). Le dispositif de l'essai de Zougmore (1995) est un bloc de Fisher à cinq traitements et quatre répétitions, installé sur un sol dénudé de type ferrugineux tropical lessivé induré peu profond (35 cm de profondeur). De texture limono-argileuse, ce sol est très pauvre en matière organique (0,8 p. cent), en azote (inférieur à 0,05 p. cent) et en phosphore assimilable (inférieur à 0,003 p. cent). La pluviosité moyenne annuelle dans la zone est de six cent millimètres.

À Illéla, au Niger, une expérimentation du projet Fida sur les *tassa* (Reij *et al.*, 1996) confirme ces résultats. Avec une pluviométrie annuelle de trois cent millimètres, les rendements à l'hectare du mil ont été en 1993 : de cent quarante-quatre kilogrammes pour le témoin ; de trois cent quatre-vingt-treize kilogrammes pour le *tassa* avec cinq tonnes de fumier à l'hectare ; de six cent cinquante-neuf kilogrammes pour le *tassa* avec fumier, cinquante kilogrammes d'urée par hectare et cent vingt-cinq kilogrammes de phosphate par hectare. En année de bonne pluviométrie, comme ce fut le cas en 1994, les rendements moyens ont même atteint et quelquefois dépassé la tonne à l'hectare sans apport supplémentaire d'engrais minéraux. Cette expérimentation a également montré que selon la pluviométrie, la densité des *tassa* pouvait induire une différence significative entre les rendements de culture.

Tous les résultats obtenus attestent qu'il est possible de remettre en culture les jachères dégradées par la technique du *zaï*. Cette méthode permet de dégager un surplus de production en grains par rapport au témoin et même d'obtenir des rendements substantiels en année de bonne pluviométrie. La cuvette seule collecte l'eau mais ne dispose pas de suffisamment d'éléments nutritifs indispensables au bon développement des cultures. C'est pourquoi l'apport de compost ou de fumier a un effet significatif sur le rendement. Selon Roose *et al.* (1995), cela s'expliquerait par la richesse en calcium et en magnésium du compost qui contribuerait à relever le taux de ces bases dans le sol. De même, l'apport d'engrais minéraux

Tableau XI. Effet de différentes méthodes de *zaï* sur la production du sorgho à Nioniogo.

	Poids	Grains	Poids	Tiges
	1993	1994	1993	1994
Traitements	Moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
Témoin absolu	66,3	71	281,7	443,9
Zaï en ligne	195,3	406,3	1 491,7	4 037,3
Zaï en quinconce	184,6	268,6	1 127,5	2 954,1
Zaï + paillage	260,5	461,4	1 606,9	4 589,9
Paillage seul	43,6	144,6	383,2	1 417,0
Standard errors of means (ese)	20,96	32,8	84,65	127,28
Probabilité F	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
sed traitement	29,64	46,38	119,72	180
Coefficients of variation : cv (%)	27,9	24,3	17,3	9,5

Source : Kambou & Zougmore (1995)

(NPK, urée, phosphate naturel) résoudrait le problème de carence du sol en azote, phosphore et potassium et ce d'autant plus que la cuvette crée des conditions permettant de mieux valoriser ces engrais (maintien de l'humidité, développement du système racinaire). C'est du reste la complémentarité des deux amendements qui explique que la combinaison compost-fumier-engrais minéraux présente les meilleurs rendements. Cette association permet d'éviter les risques d'acidification souvent constatés avec l'amendement minéral seul (Sédogo, 1983). En outre, ce dernier assure une mise à disposition rapide d'éléments nutritifs suffisants pour les plantes dès leur levée tandis que la minéralisation progressive de la matière organique compléterait l'alimentation minérale des plantes jusqu'à la fin du cycle végétatif. D'autre part, les transferts sol-plantes seraient stimulés par l'augmentation de la capacité d'échange cationique liée à l'apport de matière organique (Roose *et al.*, 1995). De nombreuses études ont montré les effets bénéfiques de la matière organique sur l'amélioration de la stabilité des agrégats et la résistance du sol à l'encroûtement (Charreau & Nicou, 1971 ; Valentin & Janeau, 1989) et aussi sur l'amélioration du statut minéral du sol (Pichot *et al.*, 1981 ; Sédogo, 1983).

Zaï et revégétalisation

Kaboré (1994) indique l'apparition sur un zipellé en récupération, dès la deuxième année de culture, d'une vingtaine d'espèces herbacées dont les principales sont : *Dactyloctenium aegyptium*, *Spermacoce stachydea*, *Schoenefeldia gracilis*, *Ipomea eriocarpa*, *Pennisetum pedicellatum*, *Zornia glochidiata*, *Andropogon* sp. D'autres espèces telles que *Microchloa indica*, *Loudetia togoensis* et *Schizachyrium exile* ont été notées sur le site de Kirsir après la première année de récupération du zipellé.

Toutes ces espèces ont poussé à la faveur des graines transportées soit par le vent soit par le ruissellement et piégées dans les cuvettes de zaï. Certaines semences proviendraient de l'amendement organique apporté dans les cuvettes ; Roose *et al.*, 1992 ont compté 13 espèces de graine d'arbustes fourragers dans le fumier à Ouahigouya (Burkina Faso).

En somme le zaï est une technique qui présente un important potentiel pour la restauration des sols. Il permet de maximiser l'efficacité de l'utilisation de la fumure dont les quantités sont du reste très limitées. L'application du zaï à long terme permet de reboiser des zones nues surtout lorsqu'on utilise du fumier (Roose *et al.*, 1992). Le fumier des animaux contient des graines forestières prétraitées dans l'estomac des animaux, ce qui facilite leur germination. Le zaï selon Roose *et al.*, 1993, permet de réduire l'impact d'une sécheresse de deux à trois semaines si la capacité de stockage en eau du sol atteint 50 mm au minimum. Le zaï selon toujours Roose *et al.*, 1993 ne peut pas résoudre les problèmes en zone saharienne où les pluies sont trop peu fréquentes ni en zones très humides comme la zone sud soudanienne où les céréales semées en poquets souffrent d'engorgement ou de lixiviation des bases. Les conditions optimum pour le succès du zaï semblent se retrouver dans la zone soudano-sahélienne (300 à 800 mm de pluie par an). Ce pendant, il faut noter que le zaï n'est efficace que lorsque le sol est très pauvre, dans le cas contraire le bénéfice n'est pas attrayant (Maatman *et al.*, 1998). Aussi, l'expansion de l'application du zaï est limitée par la disponibilité limitée du fumier ou compost, la rudesse du travail d'ouverture des poquets de zaïet souvent par le manque de sécurité foncière.

Les demi-lunes

De plus grandes dimensions que le zaï, la demi-lune est une cuvette en forme de demi-cercle, ouverte à la pioche. La terre de déblais est déposée en un bourrelet semi-circulaire au sommet aplati comme une banquette de terre. Ce bourrelet est parfois revêtu de blocs de pierres pour lui assurer une plus grande stabilité. Les dimensions usuelles de la cuvette sont de quatre mètres de diamètre et de quinze à vingt-cinq centimètres de profondeur. Elles sont

disposées géométriquement à partir d'une première ligne perpendiculaire à la plus grande pente du terrain. L'écartement est de quatre mètres entre deux demi-lunes sur la ligne et entre deux lignes successives. Les cuvettes sont décalées d'une ligne à l'autre de sorte que chaque demi-lune ait un impluvium utile de quatre mètres carré. La densité moyenne à l'hectare est évaluée à trois cent quinze demi-lunes. Toutefois, la densité peut varier en fonction des dimensions utilisées. Un aménagement de cordon pierreux ou d'un fossé de protection amont est souvent nécessaire pour freiner les ruissellements importants. Il est conseillé d'y apporter si possible de la matière organique (45 kg par demi-lune) en la mélangeant avec un peu de terre de déblais des premiers horizons.

C'est une technique très répandue au Niger où elle a connu ses débuts dans la région de Tahoua (Rochette, 1989). En tant qu'ouvrage de collecte des eaux de ruissellement, la demi-lune est surtout adaptée aux zones sahéliennes et soudano-sahéliennes (Vlaar, 1992) où elle est réalisée sur des glacis à faible pente (inférieure à 3 p. cent). Schématiquement, la demi-lune a une superficie de 6,3 mètres carrés et reçoit l'eau de pluie qui tombe sur une surface de seize mètres carrés. C'est dire que la quantité d'eau dont profite la demi-lune est 2,5 fois celle qu'elle reçoit directement. Autrement dit, avec une pluviométrie de trois cent millimètres sur un *zipellé* pratiquement imperméable, la partie cultivée de la demi-lune reçoit en réalité sept cent cinquante millimètres d'eau. Outre les cultures qui y sont pratiquées, on peut également planter des essences forestières.

Demi-lune et régime hydrique du sol

Les résultats obtenus par Masse *et al.* (1995) montrent que la demi-lune et les bandes alternées permettent une plus grande amélioration des réserves hydriques du sol ainsi qu'une augmentation de la profondeur d'humectation de vingt à quarante centimètres. La mise en réserve de l'eau est supérieure par rapport au témoin de cinquante-huit à soixante-seize pour cent pour les traitements de demi-lune, de trente-neuf à cinquante-huit pour cent pour le traitement bandes alternées. En revanche, l'ouverture de poquets (zaï sans apport de matière organique) n'apporte pratiquement aucune amélioration du stockage de l'eau (figure 3).

L'amélioration des réserves hydriques totales semble principalement obtenue grâce au travail du sol. Le traitement en demi-lunes montre une efficacité marquée par rapport au traitement bandes alternées, grâce à des pertes par ruissellement moins importantes au-delà de la bande labourée. Pour le traitement de poquets, l'humectation du profil semble limitée

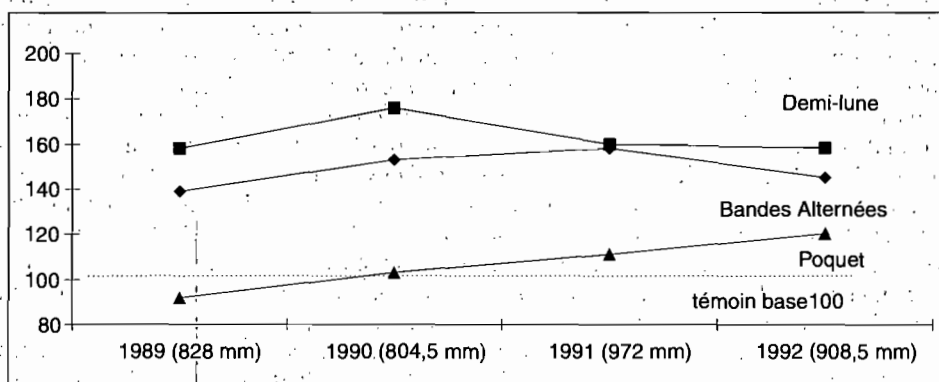


Figure 3. Évolution de l'indice de stockage de l'eau pour les différents aménagements sur sols hardés (Masse *et al.*, 1995).

à la proximité du trou, provoquant une forte hétérogénéité dans le comportement hydrique global de la parcelle. Les auteurs ont conclu qu'un seuil d'irréversibilité aurait été atteint et que, de ce fait, la réactivation complète du cycle de l'eau qui prévalait autrefois ne serait plus possible, quelles que soient les pratiques de réhabilitation envisagées.

Demi-lune et production agricole

Une étude menée au Niger (Rochette, 1989) dont l'un des objectifs était d'évaluer la durée de vie des demi-lunes et de mettre au point des techniques d'entretien des cultures pouvant améliorer la productivité et allonger cette durée de vie, a abouti aux conclusions suivantes : la demi-lune a une durée de vie de cinq ans au moins si le champ est bien entretenue ; il est important d'entretenir la surface de la demi-lune par des techniques culturales efficaces pour optimiser l'infiltration des eaux collectées ; la demi-lune accroît grandement la production agricole (tableau XII) et cela d'autant plus qu'on y ajoute un complément minéral.

Tableau XII. Comparaison de différents traitements de demi-lunes et leurs effets sur le rendement du mil à Illéla au Niger.

	Rendements en grains (kg.ha ⁻¹)	
	1993 Faible pluviosité	1994 Bonne pluviosité
Témoin	77	206
Demi-lune + fumure organique	416	912
Demi-lune + fumure organique + fumure minérale	641	1 531

Source : Reij *et al.* (1996)

Le travail du sol

Le travail du sol a pour objectif de créer une fissuration artificielle en vue d'augmenter la porosité totale des horizons superficiels du sol. Selon Nicou *et al.* (1991), cet accroissement de la porosité globale, qui peut paraître faible (10 à 20 p. cent), a pourtant des conséquences très importantes pour le développement du système racinaire des cultures annuelles par l'accroissement de la vitesse de progression du front racinaire, l'augmentation de la profondeur maximale, de la densité racinaire en profondeur et de la longueur totale, la diminution de l'écart moyen entre deux racines. Dans le cadre de la réhabilitation des sols encroûtés, nous traiterons de la préparation du sol aux dents qui permet de travailler le sol à sec sans le retourner. C'est le cas du sous-solage qui est une technique utilisée pour éclater le sol sur une profondeur donnée en vue d'améliorer sa structure (porosité) et de favoriser ainsi l'infiltration de l'eau (Barro, 1988). Le travail du sol est réalisé à l'état sec, à l'aide de la traction motorisée d'une sous-soleuse. La profondeur atteinte dépend de la puissance de traction mais aussi des caractéristiques du sol (Nicou *et al.*, 1991). En général, il est réalisé un passage en raies de quatre-vingts centimètres d'écartement et on atteindrait avec un tracteur de cent chevaux de puissance, une profondeur moyenne variant entre trente et trente-cinq centimètres sur un sol ferrugineux tropical induré sur carapace à cinquante centimètres (Saria). Évalué à l'hectare, le coût du sous-solage s'élevait en 1987 à vingt mille francs C.F.A. en moyenne soit un coût actualisé d'environ trente mille francs C.F.A. (Barro, 1988).

Les effets attendus de cette technique sont la destruction des croûtes de surface, l'éclatement du sol sur une profondeur du profil cultural, la création d'une forte rugosité de surface grâce aux grosses mottes qui résultent de l'effet éclatement. Tout cela a pour corollaire un

accroissement de l'infiltration, principalement par la rétention de l'eau dans les petites dépressions (Morin, 1993).

En raison des difficultés de mise en œuvre du travail du sol en sec en traction motorisée (investissement et coûts élevés), des recherches ont été menées en vue de réduire les investissements par l'utilisation de la traction animale. Il fallait alors trouver des outils adaptés à la force de traction des animaux et cela a abouti à la mise en œuvre de la technique de scarifiage à sec. C'est aussi une méthode de travail du sol consistant à gratter superficiellement le sol en vue d'ameublir les dix premiers centimètres du sol. À cet effet et contrairement au sous-solage, la traction peut ne pas être motorisée car la demande en puissance est plus faible. L'objectif est d'améliorer la structure du sol en vue de favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol. Des essais réalisés à Saria (Barro, 1997) sur sol sablo-argileux compact avec une dent de scarifiage (Rs8) ont montré que l'effort de traction varie entre quatre-vingts et quatre-vingt-dix kilogrammes force. Le temps de travail à quatre-vingts centimètres entre passages et à une profondeur moyenne de huit centimètres est de dix heures par hectare et quinze heures par hectare quand on passe à un écartement de quarante centimètres. Le travail à la dent sur un hectare nécessite deux journées de six heures et la mise de fond est minimale puisque le courtier est adaptable aux multiculteurs et son coût estimé à dix mille francs C.F.A. (Le Thiec, 1989).

Travail du sol et amélioration des propriétés physiques du sol

Peu de travaux de recherches ont été réalisés en ce qui concerne le décompactage des sols encroûtés par le sous-solage. Quelques projets ont eu recours à cette pratique pour aménager des zones de culture abandonnées à cause de leur mauvaise structure. Hoogmoed (1999) a montré l'influence du travail du sol sur l'infiltration de l'eau dans le sol (tableau XIII). Herblot (1984) a montré qu'après un sous-solage de vingt-cinq centimètres de profondeur, on obtient des passages très visibles, constituant un piège efficace pour l'eau de pluie. La terre est éclatée sur 0,6 mètre à un mètre en surface, jusqu'à 1,20 mètre lorsque la profondeur atteint trente centimètres. Au Sourou, on a observé un meilleur développement du système racinaire de la culture mise en place après le sous-solage suivi d'un passage de houe *manga* en traction animale (Barro *et al.*, 1993). En effet (tableau XIV), la profondeur d'enracinement maximal du sorgho est de vingt centimètres en situation non décompactée contre cinquante-cinq centimètres en situation décompactée. Les résultats ont également montré que plus de quatre-vingt-dix pour cent des racines se trouvent dans les quinze premiers centimètres sur la parcelle témoin, alors que dans la parcelle sous-solée cette colonisation racinaire est très dense jusqu'à quarante centimètres. De même, la profondeur d'enracinement du sorgho obtenue au stade montaison sur la parcelle scarifiée ou sous-solée est supérieure à celle obtenue sur la parcelle labourée. La même étude (Barro, 1997) a montré

Tableau XIII. Pourcentage de ruissellement pour trois classes de quantité de pluie et trois types de surface sur sol limoneux sableux en Afrique de l'Ouest (Mali).

Classe de pluie	Pourcentage des ruissellements		
	Sol encroûté	Moyennement encroûté	Labouré
< 10 mm	4,4	12	0
10-20 mm	14,6	50	0
> 20 mm	32,9	74	24

Source : Hoogmoed (1999)

Tableau XIV. Profondeur d'enracinement du sorgho en début montaison.

Traitements	Daba (1)	Labour (2)	Rs8+Labour	Rs8 (3)	Sous-solage (4)
Profondeur racinaire en cm	40	40	65	65	55

Source : Barro (1997)

Daba : profondeur de travail (4 à 5 cm)

Labour : profondeur de travail (12 cm)

Rs8 : profondeur de travail (9 cm); Rs8 (réversible 8 mm)

Sous-solage : profondeur de travail (39 cm).

que la densité racinaire est plus importante sur les traitements travail du sol en sec à la dent Rs8 (T3 et T4) que sur les autres traitements (figure 4).

Des études menées au Sénégal sur le travail du sol en sec (Le Thiec, 1989) ont abouti aux conclusions suivantes : le scarifiage en sec génère une rugosité trois fois supérieure au travail traditionnel à la houe ; les dents Rs8 affichent une amélioration de la rugosité de vingt à soixante pour cent, due à l'accroissement de la taille des mottes ; la profondeur de travail atteint huit à neuf centimètres dans des sols battants, dont la teneur en argile est de quinze pour cent en surface et quarante et un pour cent à soixante centimètres de profondeur ; ce taux de quinze pour cent d'argile constitue le seuil de possibilité de travail efficace à la dent en sec ; il réduit considérablement le ruissellement sur la première pluie ; à cause de la désagrégation des mottes en surface liée à la faiblesse structurale du sol, cet effet s'amenuise rapidement lors de la pluie suivante et même tend à disparaître après la troisième pluie.

Les travaux de Herblot (1984) à Gampéla ont montré qu'en début de campagne le témoin a la réserve en eau la plus faible, ce qui laisse supposer qu'il y a eu réduction du ruissellement et meilleur stockage de l'eau grâce aux travaux en sec. Mais cette différence de réserve en

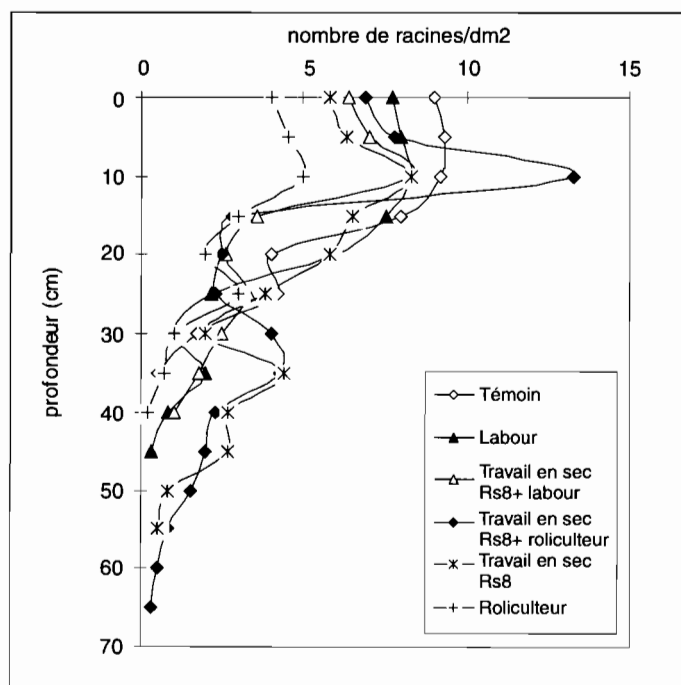


Figure 4. Densité racinaire en fonction du type de travail du sol (Barro *et al.*, 1993).

eau totale par rapport au témoin s'atténue au fil de l'hivernage. L'auteur souligne que le stockage de l'eau des premières pluies grâce aux travaux en sec permet toutefois d'assurer au démarrage des cultures, des conditions favorables à leur développement. Le travail du sol comme méthode pour lutter contre l'encroûtement des sols provient surtout de l'amélioration de la structure des sols et de l'augmentation du stockage de l'eau en surface (Morin, 1993). Les gros agrégats qui se forment après le sous-solage des horizons compacts favorisent une infiltration du sol meilleure et ce d'autant plus que la taille des agrégats favorise leur stabilité.

Travail du sol et production agricole

Les résultats obtenus par Herblot (1984) ont montré que le sous-solage entraîne une augmentation de rendement assez importante pour le sorgho et le maïs (tableau XV).

Tableau XV. Effet du sous-solage sur le rendement des cultures ((kg.ha⁻¹).

	Témoin	Sous-solage	Augmentation (%)	Effet résiduel (%)
<i>Sorgho (grains)</i>				
1981	673	1 054	+ 56	
1982	957	1 405	+ 47	+ 25
<i>Maïs (grains)</i>	312	825	+ 164	+ 16,7
<i>Arachides (coques)</i>	1 284	1 567	+ 22	+ 29,2

Source : Herblot (1984).

Ces résultats sont confirmés par ceux de Barro *et al.* (1993) à Di au Sourou où le décompactage par sous-solage a permis une augmentation de rendement de cinq cent vingt kilogrammes par hectare de grains et de mille huit cents kilogrammes par hectare de paille. Des travaux similaires menés au Sénégal (Le Thiéc, 1989) ont montré que le travail à la dent a permis un gain de production sur arachide de huit cents kilogrammes par hectare, ce qui représente en valeur une amélioration de vingt pour cent. Aussi, il faut noter que le scarifiage avec la dent Rs8 a donné le même rendement en grains de sorgho que le labour au Sourou (Barro, 1988).

Selon Toutain (1977), ces travaux exécutés à l'aide d'équipements motorisés ont permis la régénération du tapis herbacé sur des sols sableux et limono-sableux et aussi sur des sols colmatés par des dépôts d'éléments fins en bas de pente. En revanche, le même auteur rapporte que sur les plages compactes, indurées et sur les glaciés très limoneux, ces travaux n'ont pas eu de remarquables effets améliorants. Les coûts très élevés du travail du sol à sec rendent les techniques de sous-solage ou scarifiage inadaptées au contexte socio-économique des paysans.

Les diguettes anti-érosives

Il s'agit des mesures physiques de conservation des eaux et des sols telles que les diguettes en terre et les cordons pierreux. Ce sont des ouvrages mécaniques isohypses qui jouent le rôle d'obstacle au ruissellement. À la différence des diguettes en terre qui bloquent la lame ruisselée, le cordon pierreux est un obstacle filtrant qui ralentit la vitesse du ruissellement. Les deux techniques assurent la collecte et la redistribution de l'eau dans le sol.

Diguettes et bilan d'eau

Plusieurs études ont été menées en ce qui concerne l'influence des ouvrages sur la productivité du sol (Lamachère et Serpantié, 1991). Hien (1995) a travaillé avec des diguettes en terre de plus de cinq ans et a montré qu'elles entraînent un accroissement du stock d'eau du sol. Cet accroissement varie selon que l'on se trouve en amont, en aval ou dans les espaces inter-diguettes.

Amont des diguettes

L'amont des diguettes est le point d'accumulation des ruissellements enregistrés dans les espaces inter-diguettes. Dès les premières pluies le front d'humectation atteint plusieurs centimètres. Cette zone constitue aussi la zone d'accumulation de semences transportées par les ruissellements. L'amont des diguettes constitue selon Hien (1995) le « nid » de la régénération où naissent les processus biologiques de régénération et d'où diffuse l'eau au bénéfice des zones en aval. Absorbant la quasi-totalité du ruissellement pour les diguettes en terre, l'amont des diguettes présente un bilan hydrique excédentaire marqué par :

- des quantités infiltrées pouvant attendre sept à huit fois la pluviométrie annuelle ; donc les réserves en eau sont très élevées pendant toute la saison pluvieuse ;
- une évaporation proche de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) pendant la saison de croissance surtout lorsque le couvert végétal est abondant ;
- une distribution latérale et verticale de l'eau vers les horizons profonds du sol et vers l'amont et les espaces inter-diguettes.

Espace inter-diguettes

Cet espace inter-digette représente environ quatre-vingt-dix pour cent des terrains aménagés dont le ruissellement alimente l'aval et l'amont des ouvrages. Le bilan d'eau dans cet espace est fortement lié à l'intensité des ouvrages (Hien 1995). Dans cet espace, la croûte se maintient si rien n'est fait pour la détruire. Le ruissellement y est alors le plus souvent très élevé (50 à 70p. cent selon la nature de la croûte) et l'infiltration est limitée seulement aux cinq premiers centimètres. Les diguettes ont donc une moindre influence sur l'espace inter-digette surtout si celui-ci est encroûté ; mais une association de la diguette avec un paillis ou un travail du sol permet d'accroître l'efficacité des diguettes et aussi celle des techniques associées (Lamachère & Serpantié, 1991 ; Hien, 1995 ; Zombré *et al.*, 1999).

Aval des diguettes

Il n'y a pas une amélioration de l'infiltration dans l'aval des diguettes mais le phénomène le plus remarquable demeure cependant le flux d'eau dans cet espace provenant de la distribution latérale des eaux de l'amont quand le sol y est saturé d'eau.

Au total, les diguettes réduisent globalement les ruissellements. Lamachère & Serpantié (1995) ont également montré qu'un aménagement en cordons pierreux isohypses modifie les paramètres d'une crue par écrêtage et décalage de la montée. Cet effet n'améliore que marginalement l'infiltration qui dépend surtout de la rétention d'eau en amont des cordons pierreux. Le gain d'infiltration a seulement atteint quinze pour cent de la pluie après le colmatage des cordons.

Diguettes et production végétale

Les diguettes offrent, par l'accumulation de l'eau et des particules, de meilleures conditions pour la germination et le développement de la végétation herbacée et ligneuse. Une étude de l'effet des diguettes en terre menée par Zougmore (1996) au Burkina Faso (600 mm) a conclu qu'en année de pluviométrie déficitaire le stockage d'eau et l'accumulation de particules en amont des diguettes favorisaient une meilleure production en grain du

sorgho. L'état hydrique du sol permettrait à la culture en place de mieux supporter les multiples périodes de déficit hydrique. En revanche, en année de pluviométrie excédentaire, il y a stagnation importante d'eau en amont des diguettes qui pourrait entraîner une asphyxie des plantes et, partant, de faibles productions.

De même, Lamachère & Serpantié (1995) ont trouvé que lors des bonnes saisons pluvieuses, l'amélioration de l'infiltration grâce à la présence de cordons pierreux permet une meilleure croissance et une augmentation de rendement du mil de trente pour cent. Les études menées par Kambou et Zougmore (1995) ont montré qu'en année de pluviosité déficitaire, le gain de production en grain et en tige réalisé sur les parcelles aménagées atteint plus du double de la production sur le témoin.

Selon des résultats obtenus au Niger (Reij *et al.*, 1996), la production en grain sous l'effet de diguettes reste faible (inférieur à 500 kg.ha⁻¹) si des amendements ne sont pas apportés pour améliorer la fertilité du sol déjà très dégradé (tableau XVI).

Tableau XVI. Effet des cordons pierreux sur le rendement du mil, Niger.

	Rendements en grains (kg.ha ⁻¹)	
	1993 Faible pluviosité	1994 Bonne pluviosité
Témoin : sans aménagement de cordon pierreux	156	390
Cordons pierreux + fumure organique	292	671
Cordons pierreux + fumure organique + fumure minérale	448	900
Nombre d'observations	932	932

Source : Reij *et al.* (1996)

Diguets et dynamique des états de surface

Le tableau XVII montre que deux ans après l'installation d'un cordon pierreux sur un *zipellé*, la superficie du tapis herbacé augmente de cinq pour cent (Kambou & Zougmore, 1995). On note en plus une évolution des surfaces de type décantation (favorable à la germination des graines) et une régression des surfaces de type érosion.

Tableau XVII. Évolution dans le temps des superficies de chaque type de surface (en % de la superficie totale couverte).

Type d'état de surface	Superficie en 1992 S _{initiale}	Superficie en 1993	Bilan en 93
Type Erosion	66,35	27,88	- 38,47
Type Décantation	03,89	07,25	+ 03,36
Type Grossière	23,19	52,91	+ 29,72
Tapis herbacé	06,56	11,95	+ 05,39

Source : Kambou & Zougmore (1995)

Réhabilitation par l'approche « Aménagement intégré de bassins versants »

Le plus souvent, des raisons socio-économiques conduisent les paysans et les vulgarisateurs à adopter une approche réductionniste de réhabilitation des sols. Dans cette approche, un certain nombre de mesures sont prises pour des sites spécifiques définis en fonction de

critères de propriétés. Ces mesures, le plus souvent bien qu'adaptées ne produisent pas de résultats satisfaisants en raison du fait que l'approche réductionniste ne tient pas compte que les sites sur lesquels sont exécutés les mesures font partie intégrante d'un système ayant des composantes interconnectées et interdépendantes. Et comme la dégradation d'une composante du système peut avoir des conséquences sur les autres composantes du paysage, il est inutile d'entreprendre isolément des mesures sur un seul site, car l'influence des autres sites du paysage réduira à néant les résultats obtenus sur le site aménagé.

La réhabilitation des systèmes, pour être un succès, se doit de suivre une approche holistique dans laquelle la politique de restauration prend en compte toutes les structures et tous les processus socio-écologiques de l'ensemble du paysage. Selon Roose *et al.* (1992) et selon Manu *et al.* (1998), le bassin versant est l'unité de base la plus appropriée pour l'application des mesures de réhabilitation, car les limites du bassin versant comprennent l'essentiel des facteurs interdépendants qui influent sur les activités de réhabilitation.

Les études comparées d'aménagement à l'échelle du bassin versant sont de nos jours très rares. Cependant, on peut citer celles de Albergel *et al.*, (1995 et 1999) dans le bassin arachidier au Sénégal. Un bassin versant de 0,6 kilomètre carré a été aménagé de la façon suivante : mise en défens de quatre zones en bordure du plateau, mise en place de treize haies vives totalisant neuf mille plants soit quatre mille mètres linéaires, aménagement d'un cordon pierreux complété par des ouvrages filtrants ponctuels en haut de toposéquence, rectification et stabilisation de ravines par végétalisation et empierrement en zone cultivée, introduction progressive des itinéraires techniques améliorés. Une comparaison a été faite avec un autre bassin versant témoin. Les bilans hydrologiques annuels comparés (tableau XVIII) montrent des coefficients de ruissellement nettement plus faibles sur le bassin aménagé. En 1992, les transports solides ont atteint une tonne par hectare sur le bassin témoin contre seulement quatre cent quatre-vingt-huit kilogrammes par hectare sur le bassin aménagé. Ces résultats montrent qu'il est possible de réguler les processus hydrologiques du bassin par le biais d'un aménagement raisonné du paysage.

Tableau XVIII. Comparaison de bilans hydrologiques à l'échelle bassin versant au Sénégal.

Période	Pluie (mm)		Lame ruisselée (mm)		Coefficient de ruissellement (%)	
	KD	ND	KD	ND	KD	ND
1983-1987	2656,7	2781,4	54,7	72,6	2,1	2,6
1988	894,2	825,2	24,1	22,7	2,7	2,8
1989-1993	3040,4	2933,0	87,9	277,8	2,9	9,5

Source : Albergel *et al.* (1995)

KD : bassin versant de Keur Dianko (aménagé)

ND : bassin versant de Ndierguène (témoin)

Conclusions générales

Dans la zone semi-aride d'Afrique subsaharienne occidentale, la dégradation des types physiques, chimiques ou biologiques des sols s'est amplifiée à une vitesse sans précédent depuis les deux dernières décennies, compromettant les chances de l'agriculture de couvrir les besoins vestimentaires, alimentaires et énergétiques de la population toujours croissante de la région. Cette dégradation sur certains sols a atteint des seuils pour lesquels une simple mise en jachère ne peut apporter une solution satisfaisante dans le contexte de la sous-région.

Pour de telles situations, une intervention de l'homme est indispensable pour déclencher les processus de réhabilitation.

Les populations de la sous-région, en collaboration avec les institutions de développement (O.N.G., services de l'État...) et de recherches ont développé des techniques variées de réhabilitation, chacune adaptée à une situation socio-écologique spécifique. Ces techniques qui sont biologiques, chimiques ou physiques ont été évaluées par la recherche. Il apparaît que l'ensemble des techniques usitées dans la zone peuvent être regroupées en trois groupes en fonction des principaux processus en jeu dans l'action de la technique :

- les techniques qui contrôlent le ruissellement des eaux de surface pour assurer une infiltration d'une grande partie et aussi collecter les sédiments transportés par les eaux de ruissellements. Ces techniques sont entre autres les diguettes en terre, en bois ou en pierre, les bandes végétatives, les demi-lunes ;

- les techniques qui améliorent la structure, l'infiltration de l'eau et la dynamique des éléments minéraux par la stimulation de l'activité biologique du sol. Ces techniques sont entre autre le *zai*, le paillage, la mise en défens ;

- les techniques qui améliorent la structure par une perturbation physique du sol, pour assurer une bonne infiltration de l'eau et une bonne relation sol-eau-plante. Ces techniques sont entre autre le sous-solage et le scarifiage ;

Toutes ces techniques ont un impact sur la production et sur la qualité des sols ; elles présentent un potentiel pour la restauration des sols de jachères dégradées mais elles ont un certain nombre de contraintes qui limitent leur utilisation à grande échelle. Ce sont le manque de source de matière organique pour le *zai* et le paillage, le manque d'espace et les conflits d'intérêts dans l'utilisation de l'espace pour la mise en défens, la lourdeur du travail au regard des outils utilisés, le manque de crédits et d'une législation sécurisant les exploitants des terres pour toutes les techniques. En outre, l'effet des cordons pierreux est de courte durée, particulièrement sur sol sableux où, en l'espace de deux ou trois ans, ces diguettes se colmatent.

Des actions de recherche devraient être poursuivies afin de regrouper des informations qui permettront la mise en place d'outils de suivi de l'état du sol dont, entre autres, les indicateurs de qualités du sol. Ces informations permettront aussi de définir des politiques de réhabilitation des sols qui prennent en compte les conditions socio-économiques et écologiques des régions. Aussi, un effort de recherche doit être également mené pour arriver à une meilleure compréhension des fonctions des systèmes écologiques et des interdépendances entre systèmes écologiques, d'une part, et les interdépendances entre systèmes écologiques et systèmes socio-économiques, d'autre part.

Il apparaît indispensable que les solutions techniques de réhabilitation des sols soient accompagnées par un certain nombre de mesures qui rendront plus opérationnelles les actions de réhabilitation. Il faut, entre autre :

- appliquer les législations foncières en vigueur dans les différents pays car c'est une condition de sécurisation foncière qui pourrait rassurer les paysans et les stimuler à investir utilement à la réhabilitation ;

- garantir des crédits aux paysans pauvres mais surtout définir des politiques de partage des coûts de réhabilitation entre les paysans et la société tout entière qui, elle aussi, profite des bénéfices des activités de réhabilitation ;

- accompagner les activités de réhabilitation d'un paquet de techniques agronomiques éprouvées et adaptées aux conditions socio-écologiques. Cela inclut l'utilisation de semences sélectionnées, des pratiques de lutte intégrée contre les ennemis des cultures, l'irrigation de complément quand cela est possible, le maintien et (ou) l'augmentation du capital d'éléments minéraux dans le sol.

Références

- Abbadie L., Marriotti A. & Menaut J.C. (1992). « Independence of savanna grasses from soil organic matter for nutrient supply », *Ecology*, n° 73 : pp. 608-613.
- Albergel J., Diatta M., Pépin Y. & Sene M. (2000). « Aménagement hydraulique et bocage dans le bassin arachidier du Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 741-750.
- Floret Ch. & R. Pontanier (éd.), (2000). La jachère en Afrique tropicale, 2 vol., vol. I, Actes du séminaire international, Dakar (Sénégal), 13-16 avr. 1999, vol. II, De la jachère naturelle à la jachère améliorée : Le point des connaissances, Paris, John Libbey, 804 p. & 356 p.
- Albergel J., Diatta M., Gröusis M., Pezez P. & Sene M. (1995). « Réhabilitation d'un écosystème aride par l'aménagement des éléments du paysage », in Pontanier *et al.* (éd., 1995) : pp. 293-206.
- Pontanier R., M'Hiri A., Aronson J., Akrini N. & Le floch E. (éd.) (1995). L'homme peut-il refaire ce qu'il a dé fait ?, John Libbey, Eurotext Paris, 455 p.
- Allen M.F. (1989). « Mycorrhizae and rehabilitation of disturbed arid soils : Processes and practices », *Arid soil research & rehabilitation*, n° 3 : pp. 229-241.
- Ambouta J.-M.K., Moussa I.B., Sani D.O. (2000). « Réhabilitation de jachère dégradée par les techniques de paillage et de zaï au Sahel », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 751-759.
- Aronson J., Floret Chr., Le Floch E., Ovalle C. & Pontanier R. (1993). « Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid regions. I. A view from the south », *Restoration Ecology*, n° 1 : pp. 8-17.
- Barro A. (1997). « Effet du travail du sol en sec à la dent R8 sur l'amélioration de la production du sorgho au Burkina Faso », in Pirot *et al.* (éd., 1997) : pp. 61-63.
- Pirot R., Perret S. & Manichon H. éd. (1997). Le travail du sol dans les systèmes mécanisés tropicaux, Montpellier (France), Cirad-Sar, 160 p. (coll. Colloques).
- Barro A., Bonzi M., Ouattara K. (1993). Amélioration du profil cultural par le travail du sol. Rapport de deux ans d'étude sur les taches stériles à DI, Ouagadougou (Burkina-Faso), Inera, 14 p.
- Casenave A. & Valentin C. (1989). Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration, Paris, Orstom-C.E.E., 227 p.
- Charreau C. & 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° 9 : pp. 903-978.
- Chase R.G. & Boudouresque E. (1987). « A study of methods for revegetation of barren, crusted Sahelian forest soils in the region of Niamey, Niger », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n° 18 : pp. 211-221.
- Daouda O.S., Marini P. & Ambouta J.-M.K. (2000). « Amélioration du régime hydrique des sols dégradés des jachères de l'Ouest Nigérien (Aspects méthodologiques, premiers résultats) », in Floret & Pontanier (éd., 2000).
- De Boer J.L., Boffa J.M., Dickey J., Robins E. (éd.) (1994). Recherche Intégrée en Production Agricole et en Gestion des Ressources Naturelles : Projet d'Appui à la Recherche et à la Formation Agricoles (Arts), Burkina Faso, 1990-1994, Purdue Univ.-Winrock International, 421 p.
- Diatta M. (1994). Mise en défens et techniques Agroforestières au Siné Saloum (Sénégal). Effets sur la conservation des eaux et des sols et sur la production primaire, th. doct., univers. sc. Louis-Pasteur, Strasbourg, 202 p.
- Diatta M. & Faye E. (1997). « Effets de quelques années de protection sur la jachère en zone sahélo-soudanienne du Sénégal : structure et production primaire », in Floret (éd., 1997) : pp. 33-40.
- Floret Ch., éd. (1997). La jachère, lieu de production : Amélioration de la jachère en Afrique de l'Ouest, projet 7 ACP RPR 269, Dakar, Coraf, 265 p.
- Drees L.R., Manu A. & Wilding L.P. (1993). « Characterisation of eolian dust in Niger, West Africa », *Geoderma*, n° 59 : pp. 213-233.
- Herblot G. (1984). « Une expérimentation travail du sol en sec en Haute-Volta », *Machinisme Agricole tropical*, n° 85 : pp. 3-41.
- Hien G.F. (1995). « La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel. Une étude de l'effet de mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso », *Tropical Resources Management Papers n°7*, Wageningen Agricultural Univ., The Netherlands, 223 p.
- Holling C.S. (1973). « Resilience and stability of ecological system », *Annual review of ecology and systematic*, n° 4 : pp. 1-23.

- Hoogmoed J.W. (1999). « Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropics », Tropical resource Management Papers, n° 24, Wageningen Agriculture University, Wageningen, 184 p.
- Kabore V. (1994). Amélioration de la production végétale des sols dégradés ("zipellés") du Burkina Faso par la technique des poquets (zaï), th. doct., École polytechnique fédérale de Lausanne, 199 p. + annexes.
- Kambou N.F. & Zougmore R. (1995). Évolution des états de surface d'un « zipellé » soumis à différentes techniques de restauration des sols. Yilou, Burkina Faso, XIIes journées du réseau Érosion, Paris, sept. 1995, 14 p.
- Kessler J.J., Maja S.A. & Savadogo M. (1997). « Regeneration of sylvopastoral lands in the sahel zone under village management conditions », Land Degradation and Development, n° 9 : pp. 95-106.
- Kooyman Chr. & Onck R.F.M. (1987). The interactions between termite activity, agricultural practices and soil characteristics in Kisii district, Kenya, Wageningen Agricultural University Papers, Wageningen, 120 p.
- Lal R. & Miller F.P. (1993). « Soil quality and its management in humid subtropical and tropical environments », in Baker (éd., 1993) : pp. 530-539.
- Baker M.J., éd. (1993). Grassland for our world, Canberra, Wellington, Sir Publishing, 865 p.
- Lal R. & Stewart B.A. (1992). « Soil degradation. Need for action : research and development priorities », Advances in Soil Sciences, n° 11 : pp. 331-336.
- Lal R. (1997). « Soil quality and sustainability », in Lal *et al.* (éd., 1997) : pp. 17-31.
- Lal R., Blum W.H., Valentine C. & Stewart B.A. (éd.) (1997). Methods for assessment of soil degradation, New York, CRC Press, Boca Raton, 558 p.
- Lamachère J.M. & Serpantie G. (1991). « Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en milieu zone soudano-sahélienne, Bidi, Burkina Faso », in Kergreis & Claude (éd., 1991) : pp. 165-178.
- Kergreis A. & Claude J. éd. (1991). Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride, Paris, John Libbey, 376 p.
- Le Thiec G. & Bordet D. (1989). « Essai et mise au point d'outil de travail du sol à traction animale », Machinisme Agricole Tropicale, n° 91 : pp. 74-77.
- Leonard J. & Rajot J.-L. (1998). « Restoration of infiltration properties of crusted soils by mulching », in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 191-195.
- Renard G., Neef A., Beker K. & Von Oppen M. (éd.) (1998). Soil fertility management in West Africa, Weikersheim (Germany), Verlag Ulrich, 560 p.
- Maatman A., Sawadogo H., Schweigman C. & Ouedraogo A. (1998). « Application of zaï and rock bunds in the northwest region of Burkina Faso: study of its impact on household level by using a stochastic linear programming model », Netherlands Journal of Agricultural Science, n° 46 : pp. 123-136.
- Mando A. & Brussaard L. (1999). « The role of termite in the breakdown of straw under sahelian soil condition », Biology and Fertility of Soils, n° 29 : pp. 332-334.
- Mando A. & Stroosnijder L. (1999). « The biological and physical role of mulch in the rehabilitation of crusted soil in the Sahel », Land Use and Management, n° 15 : pp. 123-130.
- Mando A. (1997a). « The effect of mulch on the water balance of Sahelian crusted-soils », Soil Technology, n° 11 : pp. 121-138.
- Mando A. (1997b). « Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally-crusted soils in the Sahel », Land Rehabilitation and Development, n° 6 : pp. 269-278.
- Mando A. (1997c). « The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soils », Tropical Ressources Management Papers, n° 16, Wageningen Agricultural Univ. (The Netherlands), 101 p.
- Mando A. (1998). « Soil dwelling termites and mulch improve nutrient release and crops performance on crusted Sahelian soils », Arid Soil Rehabilitation & Research, n° 12 : pp. 153-164.
- Mando A. (1999). Integrated land management for food production in Burkina Faso : environmental, institutional and socio-economical issues, Rome, F.A.O., 97 p.
- Mando A. & Miedema R. (1997). « Termite-induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soil in the Sahel », Applied Soil Ecology, n° 6 : pp. 241-249.
- Mando A., Brussaard L. & Stroosnijder L. (1999). « Mulch and termite mediated rehabilitation of crusted sahelian vegetation », Restoration Ecology, n° 6 : pp. 33-41.
- Mando A., Stroosnijder L. & Brussaard L. (1996). « Effect of termite and mulch on infiltration into crusted soil in the Sahel », Geoderma, n° 74 : pp. 107-113.

- Manlay R. & Masse D. (1998). « Dynamique du carbone dans le cycle culture-jachère en Afrique de l'Ouest », in Floret (éd., 1998) : pp. 90-104.
- Floret Ch., éd. (1998). Raccourcissement de la jachère, biodiversité et développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal), Projet C.E.E., Dakar, Coraf, 165 p.
- Manu A., Coleman T.L. & Juo A.S.R. (1998). « Soil restoration in degraded agro-pastoral systems of semi-arid West Africa », in Renard *et al.* (éd., 1998) : pp. 173-183.
- Manu A., Thrurow T.L., Juo A.R.S., Sanguina I., Gandha M. & Mahamane I. (1994). « Sustainable land management in the Sahel: A case study of an agriculture watershed at Hamdallaye, Niger », *TropSoil Bulletin*, n° 9 : pp. 4-01.
- Masse D., Donfack P., Floret Chr., Pontanier R. & Seyni-Boukar L. (1995). « Réhabilitation de vertisols dégradés (sols hardés) au Nord-Cameroun », in Pontanier *et al.* (éd., 1995) : pp. 127-137.
- Morin J. (1993). « Soil crusting and sealing in West Africa and possible approaches to improved management. in Soil tillage in Africa : needs and challenges », *FAO soils Bulletin*, n° 69 : pp. 95-128.
- Pichot J., Sedogo M.P., Poulain J. F., Arrivets J. (1981). « Évolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques », *Agron. Trop.*, n° 37 : pp. 122-133.
- Pontanier R., M'Hiri A., Akrimi N., Aronson J. & Le Floc'h É. (éd.) (1995). *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défilé ?* Paris, John Libbey Eurotext, 455 p.
- Rajot L.J. (2000). « Bilan en masse de l'érosion éolienne à l'échelle d'un terroir sahélien : rôle des jachères », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 155-162.
- Regis P. & Eyog-Matig O. (1989). « Un essai sylvo-pastoral au Nord-Cameroun : mise en place d'un dispositif d'étude d'une savanne arborée dégradée en zone soudano-sahélienne à Laf-Badjava, premiers résultats », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 221 : pp. 3-23.
- Reij C., Scoones I. & Toulmin C. (éd.) (1996). *Sustaining the soil : indigenous soil and water conservation in Africa*, London-Paris-Amsterdam-Wageningen, Earthscan, 260 p.
- Rochette R.M. (1989). *Le sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences*, Ouagadougou, CILSS-G.T.Z., 592 p.
- Roose É. (1994). « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) », *Bull. FAO*, n° 70, 420 p. [éd. I]
- Roose É., Dugue P. & Rodriguez L. (1992). « La G.C.E.S. Une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 233 : pp. 49-61.
- Roose É., Kaboré V. & Guenat C. (1993). « Fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso) », *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, n° 28 : pp. 159-173.
- Roose É., Kaboré V. & Guenat C. (1995). « Le *zai*, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso) », in Pontanier *et al.* (éd., 1995) : pp. 249-265.
- Sarr M., Agboba C. & Russell-Smith A. (2000). « Abondance et diversité des termites dans les Jachères sahéliennes et les effets des termites et autres macrofaunes du sol sur l'infiltration », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 242-249.
- Schaffer W.M. (1985). « Order and chaos in ecological systems », *Ecolog.*, n° 66 : pp. 93-106.
- Sédogo P.M. (1983). *Contribution à la valorisation des résidus culturels en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures)*, th. doct. ing., sciences agronomiques, Nancy, Institut national polytechnique de Lorraine, 198 p.
- Span W.P. & Van Dijk K.J. (1998). « Evaluation of the effectiveness of soil and water conservation measures in a closed sylvo-pastoral area in Burkina Faso », *Advances in Geocology*, n° 31 : pp. 1295-1301.
- Sterk G. (1997). « Wind erosion in the Sahelian zone of Niger : processes, models and control techniques », *Tropical Ressources Management Papers* n° 15, Wageningen Agricultural Univ., (The Netherlands), 150 p.
- Toutain B. & Piot J. (1980). « Mise en défens et possibilités de régénération des ressources fourragères sahéliennes : Étude expérimentales dans le bassin de la mare d'Oursi (HV) », *Inst. D'Elev. Et de Méd. Vét. Des Pays Trop.*, C.T.F.T., 156 p.
- Toutain P. (1977). « Essais de régénération mécanique de quelques parcours sahéliens dégradés », *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, n° 30 : pp. 191-198.

- Valentin C. & Janeau J.L. (1989). « Les risques de dégradation structurale de la surface des sols en savane humide (Côte-d'Ivoire) », *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, n° 25 : pp. 41-52.
- Valentin C. (1995). « Sealing, crusting and hardsetting soils in Sahelian Agriculture », in So et al. (éd., 1995) : pp. 53-76.
- So H.B., Smith G.D., Raine S.R., Schafer B.M. & Loch R.J. (éd.) (1995). *International Symposium on Sealing, Crusting and Hardsetting Soils : productivity and conservation*, Canberra, Australian Society of Soil Science, 675 p.
- Vlaar J.C.J. éd. (1992). *Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel*, rapport d'étude, Wageningen (Pays-Bas), Cich-U.A.W., 99 p.
- Wezel A. & Böcker R. (sous presse). « Fallow Plant communities and site characteristics in semi-arid Niger, West Africa », *Journal of Arid Environments*.
- William J.R., Keith R., Richards S.B. & Hook A. (1993). « Soil characteristics and process critical to the sustainable use of grasslands in arid, semi-arid and seasonally dry environments », in Baker (éd., 1993) : pp. 488-503.
- Baker M.J. éd. (1993). *Grassland for our world*, Canberra, Wellington, Sir Publishing, 865 p.
- Yossi H., Dembele F. & Karembe M. (1998). « Dynamique de la végétation ligneuses post-culturelle en Zone Soudanienne du Mali », in Floret (éd., 1998) : pp. 63-74.
- Zombré P.N., Mando A. & Ilbboudo J.B. (2000). « Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur la restauration des jachères très dégradées au Burkina Faso », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 771-777.

LOUIS - JEAN
avenue d'Embrun, 05003 GAP cedex
Tél. : 04.92.53.17.00
Dépôt légal : 84 — Février 2001
Imprimé en France

La jachère en Afrique tropicale

*De la jachère naturelle à la jachère améliorée.
Le point des connaissances*

Les dix chapitres de cet ouvrage abordent différents thèmes concernant la place et les fonctions de production de la jachère traditionnelle en Afrique tropicale, l'importance des jachères améliorées ainsi que les méthodes de substitution à cette jachère qui tend à disparaître. Ces synthèses sur la jachère et son devenir, réalisées par des auteurs de spécialités différentes, abordent des aspects biologiques, agronomiques et socio-économiques. Elles permettent de faire le point des connaissances actuelles concernant la transition agraire qui conduit des systèmes pratiquant encore la jachère vers des systèmes à culture continue.

Ce deuxième volume est à consulter avec le premier qui concerne les communications présentées au cours d'un séminaire international tenu à Dakar en avril 1999. Il s'adresse aux chercheurs, enseignants, étudiants et aménagistes des zones tropicales africaines. Ils y trouveront de nombreuses références originales acquises au Burkina Faso, Cameroun, Côte-d'Ivoire, Mali, Niger et Sénégal, au cours du projet « La Jachère en Afrique tropicale » (1995-2000).



Maquette réalisée d'après
un dessin original d'Emilie
PONTANIER



380700
€ 57.93