

Les indicateurs du fonctionnement et du changement du milieu rural

Roger PONTANIER, Christian FLORET

IRD, BP 1386 Dakar, Sénégal

Résumé — Pour évaluer les différents changements d'état, ou les modifications de fonctionnement du milieu rural, induits par les perturbations naturelles, et surtout par les interventions de l'homme, l'observateur a le plus souvent recours à de simples caractéristiques du système écologique étudié, mais aussi à l'utilisation d'indices complexes calculés à partir de paramètres élémentaires. Cet ensemble est désigné sous le vocable général d'indicateurs d'état et de fonctionnement du milieu. A titre d'exemple des indicateurs d'état des systèmes agro-écologiques et du suivi du cycle culture-jachère en Afrique tropicale ont été élaborés. Ils concernent les plantes indicatrices (par approche anthropique, ou démarche statistique), les indices de biodiversité, les indicateurs physiques et biochimiques des sols. L'utilisation de la méso et macrofaune du sol s'est révélée très pertinente. Les indicateurs socio-économiques sont évoqués. Certaines comparaisons sont faites entre la perception paysanne de l'état du milieu et celle du chercheur. La mise au point et la détermination des indicateurs n'ont pas toujours la réussite escomptée. Il faut distinguer, les indicateurs globaux voire régionaux qui dans l'ensemble sont les plus pertinents. A l'échelle des champs et parcelles du système, certains échecs sont dus à de mauvaises hypothèses, à une méconnaissance des cycles biologiques, à une forte hétérogénéité du milieu et à une imparfaite connaissance de l'histoire agricole des parcelles.

Abstract — **Operational and change indicators of the rural environment.** Evaluating the different changes of status or the modifications to the working of a rural environment, made by natural phenomena, and particularly by man's intervention, the observer has to turn to the measurement or to the evaluation of simple parameters, attributes and characteristics of the ecology in question. He must also look at the use of complex indices calculated from elementary parameters. This set is generally termed the operational and status indicators of the environment. Indicators of agro-ecological system and the follow-up to the alternating cropping and fallow system are given in example. They concern plant indicators (by the anthropic or statistical approach), the indices of bio-diversity, physical and bio-chemical soil indicators. The use of soil meso and macro fauna is known to be relevant. Social economic indicators are only touched on. Comparisons between farmer and research perception are made. The determination of indicators of facies and dynamic stages of a system don't always have the expected results. One must pick out the overall original indicators, which are relevant as a whole. When looking at fields and plots the failure of some of these is due to bad hypotheses, to misunderstanding of biological and phenological cycles, to strong heterogenesis and to imperfect knowledge of the plots' agricultural history.

Introduction

Pour évaluer les différents changements d'état, ou les modifications de fonctionnement du milieu rural, induits par les perturbations naturelles, et surtout par les interventions de l'homme, l'observateur a le plus souvent recours à la mesure ou à l'évaluation de simples paramètres, attributs et caractéristiques du

système écologique étudié, mais aussi à l'utilisation d'indices complexes calculés à partir de paramètres élémentaires. Cet ensemble est désigné sous le vocable général d'indicateurs d'état et de fonctionnement *du milieu* (Lawton *et al.*, 1998 ; Bockstaller *et al.*, 1997 ; Ruiz *et al.*, 1995 ; Feller, 1995 ; Oades et Walters, 1994 ; Aronson *et al.*, 1993, 1995). Après un bref rappel de certains concepts, définitions et propriétés des indicateurs, cette contribution, au travers d'un exemple concernant les mutations de la gestion des terres des savanes de l'Ouest africain et la transition agraire affectant, présente l'utilisation de quelques indicateurs utilisés pour le suivi des états du cycle culture-jachère.

Généralités sur l'observation et les indicateurs du changement

Définitions d'indicateurs

Au cours des deux dernières décennies, les définitions et le contenu concernant les indicateurs ont été nombreux et pas toujours très précis ni concordants. Dès 1982, Bick signalait, que les bio-indicateurs sont, au sens écologique large, des organismes que l'on peut utiliser pour la détection et la quantification de facteurs ou ensembles de facteurs environnementaux, mais que certains auteurs préfèrent conserver ce terme de bio-indicateurs à ceux qui relèvent des influences anthropiques.

Loireau (1998) à propos d'indicateurs utilisés dans le cadre d'études d'unités spatiales de référence en zone soudano-sahélienne, donnent les définitions suivantes. Un indicateur est un paramètre ou une valeur calculée (indice, index) à partir d'un ensemble de paramètres. Il doit fournir des informations sur un phénomène qui affecte le système ou sur l'état de ses composants. Les valeurs des indicateurs, aux cours des périodes d'observation, sont confrontées à des valeurs repères, afin de déterminer les tendances d'évolution et le franchissement des seuils d'irréversibilité.

L'OCDE distingue trois grands types d'indicateurs, et cela en accord avec les différentes commissions pour le développement durable, la Banque mondiale, le WRI¹, le PNUE, le PNUD/UNSO² etc. : (i) les indicateurs de l'état de l'environnement, (ii) les indicateurs de pression sur l'environnement (processus naturels et activités humaines), (iii) les indicateurs de réponses apportées par l'homme et les sociétés.

Qualités des indicateurs

D'Herbes *et al.* (1997) citent les qualités recherchées pour un indicateur : pertinence (bonne image de la situation et réaction très sensible aux changements), fiabilité et utilité (indicateurs simples et en nombre limité). Concernant cette dernière qualité, Lawton *et al.* (1998) ont cherché, suite à l'anthropisation, à corrélérer les états de dégradation de la forêt primaire camerounaise à huit groupes de l'entomofaune, de l'avifaune et de la mésofaune du sol afin d'identifier des indicateurs utiles et pertinents. Ils montrent que la plupart de ces groupes sont des indicateurs de qualité. Mais certains nécessitent des coûts d'observation multipliés par cent par rapport aux plus économiques, cela pour obtenir le même résultat.

Echelles spatiales

L'observation et le suivi du changement peuvent s'effectuer à différentes échelles de l'organisation des espaces qu'ils soient naturels, socio-économiques ou politiques. On observe en général du local au régional ; aujourd'hui les décideurs ont aussi besoin d'indicateurs reflétant les changements à l'échelle du globe. Il est évident que pour chacun des processus ou états de ressources à suivre, correspond un ensemble d'indicateurs, adaptés au niveau d'échelle spatiale de l'observation, et que l'extrapolation à des niveaux inférieurs ou supérieurs doit toujours être faite avec prudence.

La figure 1 est un exemple des changements cohérents d'échelles spatiales que l'on peut faire dans des opérations de suivi interactif état du milieu-utilisation du milieu, en partant du plan local jusqu'au plan régional. Ce schéma renseigne sur la nature des déterminants concernés à chaque niveau d'organisation des paysages et des sociétés, ainsi que sur celle des indicateurs que l'on pourrait y associer.

1 World Resources Institut.

2 Programme des Nations-Unies pour le développement/Bureau de lutte contre la désertification et la sécheresse.

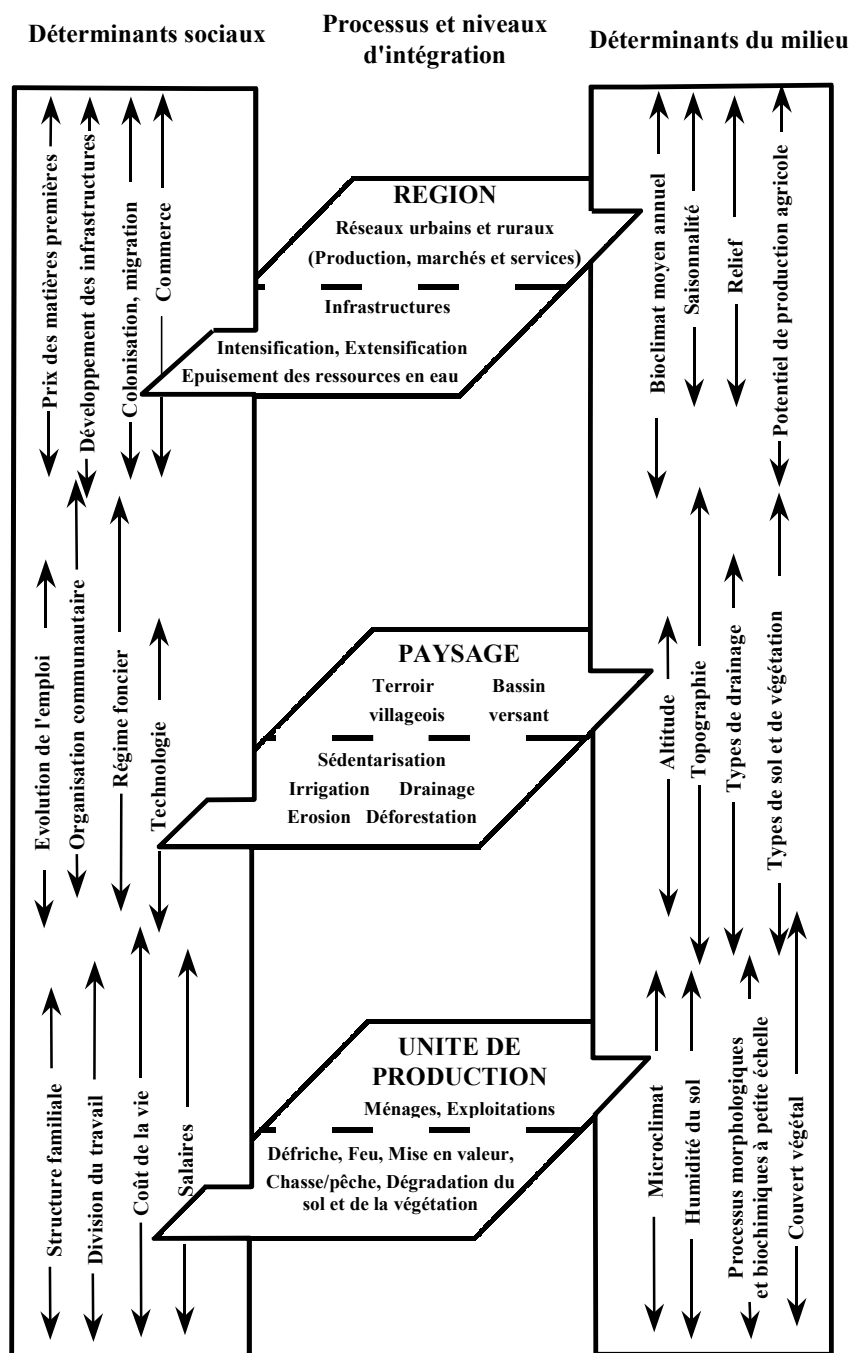


Figure 1. Déterminants sociaux et du milieu et niveaux d'intégration (d'après Loireau et al., 1997) .

Echelles de temps

L'observation de certains processus environnementaux ou sociaux nécessite des temps très longs pour percevoir des modifications d'enregistrement ou des valeurs remarquables des indicateurs. Dans ce cas celle-ci se fait soit sur des modes rétrospectifs, soit par la mise en place de repères et d'observatoires pour les générations futures qui auront à charge d'effectuer une évaluation, au pas de temps de l'ordre de la décennie, par exemple (Christensen and Johnston, 1997).

A l'inverse les modifications affectant les systèmes peuvent être très rapides. Dans ce cas l'observateur a besoin d'indicateurs très sensibles, répondant rapidement au changement sans phénomène d'hystérésis. Ainsi, soit dans des situations très diverses au point de vue datation des processus (mode synchrone), soit

dans des dispositifs de suivis pluriannuels ou plurisaisonniers voir journaliers (mode diachrone), l'observateur s'attachera à noter à la fréquence adéquate les variations des indicateurs les plus pertinents (Staben *et al.*, 1997).

Dans les préoccupations liées au temps, il faut souligner, à l'occasion d'études comparatives, l'importance de respecter un synchronisme parfait, lors de l'observation des indicateurs à forte variabilité saisonnière, et présentant des empreintes ou marquages de faible persistance. Donc pour de tels indicateurs, il convient de connaître parfaitement la durée de persistance de l'enregistrement, et les cycles saisonniers des processus à observer, ainsi que les aléas qui peuvent les affecter (conditions climatiques, ravageurs, indisponibilité temporaire de la main-d'œuvre, conflits sociaux occasionnels etc.).

L'utilisation des indicateurs pour le suivi du cycle culture-jachère

Le cycle culture-jachère en Afrique de l'Ouest

Le système culture-jachère (Floret *et al.*, 1993), exemple d'une gestion socio-écologique durable des savanes à très faible usage d'intrants, a bien fonctionné jusqu'à une date récente. Les temps et les surfaces en jachère se sont considérablement raccourcis, entraînant un effondrement de la fertilité naturelle des sols, alors que les prélèvements de bois et d'herbacées de pâture se sont accrus avec pour conséquence une baisse de la biodiversité. Le feu contrarie également en 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 observation de ces terres en danger, en vue d'envisager une gestion adaptée de la jachère, ou des méthodes de substitution, pour assurer le maintien durable de l'activité agricole en Afrique tropicale, et préparer le passage à une agriculture continue. L'identification et le suivi d'indicateurs (tableau 1), utilisés pour le diagnostic ou dans des observatoires, sont alors des outils indispensables (Floret et Pontanier, 2000 ; 2001).

Les plantes indicatrices des états du système culture-jachère

L'abandon de la culture dans les parcelles, s'accompagne d'une modification de la composition floristique ; c'est la succession post-culturale. A l'inverse, la remise en culture favorise l'apparition d'une végétation adventice, dont la composition évolue au cours de la phase de culture, laissant apparaître de nouveaux taxons, dont certains sont les témoins d'un début de dysfonctionnement du système ou encore indiquent des types de carences édaphiques. Deux démarches permettent d'appréhender ces plantes indicatrices.

La démarche anthropologique

Les paysans nigériens des régions de Say et de Ouallam (Soumana, 1992), reconnaissent une terre redevenue fertile par mise en jachère, d'une terre épuisée, grâce à un certain nombre d'indicateurs biologiques familiers de leur environnement. Parmi les espèces végétales, les graminées jouent un grand rôle dans ce diagnostic (*Andropogon gayanus*, *Aristida mutabilis*, *Chloris pilosa*... pour les terres fertiles et *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*... pour les champs épuisés), suivies de certaines espèces ligneuses. Ils accordent aussi beaucoup d'importance à la présence ou à l'absence de quelques espèces animales comme indicateurs de l'état du milieu.

Donfack et Seignobos (1996), sur la base d'enquêtes auprès des paysans de la région de Maroua (Nord-Cameroun) et l'interprétation étymologique des taxons exprimés en langue Giziga, montrent comment la connaissance du développement de la végétation adventice au cours d'une culture permet de gérer au mieux le sarclage, mais aussi de déterminer les moments et les zones propices à la mise en jachère. De même le retour, dans les jachères, de plantes annonciatrices d'une reprise des cultures est soigneusement observé ; ainsi la réapparition dans les jachères de *Cyperus pustulatus* (en Giziga *ngi ngel* qui signifie aide/grandir), est le signal pour le cultivateur de réamblaver en sorgho, les sols de texture légère. En accord avec (Haman et Seiny Boukar, 1992), ces auteurs fournissent, pour les deux systèmes de culture les plus fréquents de cette région, sols ferrugineux cultivés en saison des pluies (sorgho, arachide, niébé,

coton...) et vertisols ou, *karal*, cultivés en sorgho de contre-saison (muskuwaari), des listes anthropologiques de plantes témoins, dont la plupart ont été validées par l'approche statistique. Au Cameroun (Frosio, 2000) a cherché à mettre en relation l'appréciation paysanne de la fertilité et celle de l'agro-pédologie. Les correspondances ne sont pas évidentes.

Tableau I. Indicateurs physiques, chimiques et biologiques des sols pour le suivi et la caractérisation des états du cycle culture-jachère (d'après Floret et Pontanier, 2001).

→Caractéristiques chimiques	<ul style="list-style-type: none"> - CEC, Bases échangeables - Phosphore Carbone - Azote - C/N - matière organique sur fractions granulométriques - pH
→Caractéristiques physiques	<ul style="list-style-type: none"> - Densité apparente - Courbes de succion et retrait - Agrégation - Stabilité structurale
→Caractéristiques hydriques	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltrabilité - Calendrier des réserves hydriques
→Végétation	<ul style="list-style-type: none"> Végétation épigée <ul style="list-style-type: none"> - Composition floristique - Plantes indicatrices traditionnelles - Biomasse herbacée - Recouvrement Végétation hypogée <ul style="list-style-type: none"> - Biomasse racinaire - Fertilité en pots
→Faune du sol (inventaire, dynamique population)	<ul style="list-style-type: none"> - Nématodes - Termites - Lombrics - Macrofaune (autres)
→Microflore	<ul style="list-style-type: none"> - Rhizobiums, mycorhizes
→Activité biologique ou microbiologique	<ul style="list-style-type: none"> - Biomasse microbienne - Respirométrie - Minéralisation C et N

La démarche écologique et statistique

Grâce aux méthodes utilisant la théorie de l'information mutuelle (Abramson, 1963), Donfack (1998) a mis en évidence, dans le Nord-Cameroun, le long d'un transect pluviométrique (600 à 1200 mm), sur les principaux types de milieux édaphiques de la région, les profils écologiques des 50 espèces les plus sensibles à l'âge de la jachère. Il peut ainsi distinguer trois stades du cycle culture-jachère :

- le groupe 1, est lié aux cultures avec *Striga hermonthica*, *Commelina benghalensis*, *Leucas martinicensis*...
- le groupe 2 caractérise des jeunes jachères, avec *Cassia obtusifolia*, *Waltheria indica*, *Anona senegalensis*, *Combretum glutinosum*, ainsi que de nombreuses graminées annuelles ;
- le groupe 3 avec *Andropogon pinguipes*, *Sporobolus festivus*, *Cissus cornifolia* et le retour des ligneux des savanes tels que *Anogeissus leiocarpus*, *Gardenia ternifolia*, caractérise les vieilles jachères.

Analysant, à l'échelle régionale, les groupes fonctionnels végétaux indicateurs de l'âge des jachères, Donfack (1998) signale qu'un groupe de graminées annuelles à faible enracinement indique plutôt des jachères jeunes (1 à 4 ans), qu'un mélange de graminées annuelles/pérennes et de ligneux bas indique

des jachères intermédiaires (5 à 8 ans), et enfin que pour les vieilles jachères (9 à 25 ans) ou savanes, ce sont les ligneux qui jouent ce rôle. Ceci est confirmé par d'autres auteurs (Fournier et Floret, 2001).

Cependant, il est illusoire de prétendre établir une liste universelle de plantes indicatrices pertinentes des stades du cycle culture-jachère, pour l'ensemble des zones tropicales. La prise en compte de la région écologique et des conditions édaphiques, améliore leur rôle d'indicateurs.

Quelques indicateurs physiques et biochimiques des sols

Bilan et stockage du carbone organique utilisé comme indicateurs du temps de jachère

La jachère est un processus actif de régénération de la fertilité, reposant essentiellement sur des mécanismes biologiques qui régissent les bilans du carbone organique (Manlay, 2000). Ainsi cet auteur préconise qu'en milieu tropical, où les processus biologiques sont rapides et prépondérants, la mesure du carbone total, pour pouvoir être utilisée comme indicateur, doit être accompagnée d'études de dynamiques saisonnières, et de quantification des flux de carbone traversant le système sol.

Modification de l'horizon superficiel du sol en cours de la jachère

Chotte *et al.* (1997), sur une grappe de jachère-culture d'un sol Dior du bassin arachidier du Sénégal, étudient les modifications de l'horizon superficiel. Ils constatent que les teneurs en C et N des sols sous jachère (19 ans) sont plus élevées que sous culture. Les valeurs des rapports C/N avoisinent 17 sous jachère. Elle est légèrement supérieure (24) sous culture. La porosité, étudiée sur lame mince, montre des vides respectivement quatre et deux fois plus importants sur les jachères de 19 ans et de 3 ans que sur la culture. Il s'agit d'une porosité d'origine biologique (macrofaune).

Concernant l'agrégation, la classe $> 2000 \mu\text{m}$ est significativement la plus abondante pour la jachère de 19 ans. Elle représente respectivement 29 % et 7 % du poids du sol total des jachères de 19 et 3 ans. Cette classe est constituée exclusivement d'agrégats dont la cohésion semble assurée par les racines. Les agrégats plus petits (fraction 50-2000 μm) représentent respectivement 70 % et 46 % du poids du sol pour 19 et 3 ans de jachère. La classe micro-agrégée 2-50 μm est près de deux fois plus abondante à 19 ans qu'à 3 ans. A l'inverse, la quantité d'argile dispersée est 5 fois plus élevée pour 3 ans que pour 19 ans.

La teneur en matière organique, la macroporosité d'origine biologique et l'abondance des macro-agrégats se révèlent, dans ce cas, d'excellents indicateurs du suivi du cycle culture-jachère.

Eléments de la mésofaune et de la macrofaune des sols indicateurs des stades du cycle culture-jachère

Nématodes

Pate (1997), montre que les nématodes du sol sont d'excellents décripteurs du fonctionnement et de l'état des stades du cycle culture-jachère. Dans la succession post-culturelle, on assiste à un remplacement des phytoparasites des cultures *S. Cavenessi* et *T. gladiolatus*, par *C. curvata*, *T. mashoodi*, etc., apparemment dans la même niche écologique. Il s'agit non pas d'une diminution du peuplement, mais d'un rééquilibrage spécifique. Cependant, une utilisation pertinente de ces indicateurs impose d'avoir une parfaite connaissance du peuplement global et de son évolution saisonnière.

La macrofaune invertébrée du sol

Etudiant les populations de termites, fourmis, vers de terre, etc. en Haute Casamance, Lavelle *et al.* (2000) concluent que les jachères les plus récentes (1 ou 2 ans) et les plus anciennes (18, 31 ans) présentent les plus fortes densités de vers de terre, quelle que soit la date d'échantillonnage. Ils insistent sur le fait que les observations faites en fonction du calendrier pédohydrique peuvent être utilisables sur un même lieu comme indicateurs, mais sont difficilement extrapolables à d'autres terroirs ou régions.

Dubois (2000), montre qu'au Nord-Cameroun, le défrichement et la culture, en détruisant les termites humivores et lignivores, favorise le développement des champignonistes, et qu'après 7 ans de culture

continue, une mise en jachère protégée de 5 ans suffit pour voir revenir les peuplements de termites initiaux. La connaissance du cycle biologique des espèces, reliée à celle du pédoclimat est absolument nécessaire pour établir la relation indicateur population termite/état du stade cycle culture-jachère.

Quelques indicateurs socio-économiques pour suivre la jachère dans les sociétés rurales et les systèmes agraires

Le suivi du raccourcissement du temps de jachère et de ses conséquences sur les paysages et sociétés agraires, peut se faire à l'échelle des terroirs ou des régions agro-écologiques.

Pression démographique et occupation des terres

L'indicateur de la pression démographique est le premier qui vient à l'esprit ; mais, il n'est pas très fiable du fait de la mobilité des populations (migrations définitives ou temporaires). Bazile (1998) a tenté d'établir un lien entre l'occupation des terres et la densité des exploitants ou pression sur les terres. Partant du fait que c'est la faible disponibilité en terre qui contribue au maintien d'une agriculture intensive, ou de son intensification, il propose une relation pour définir le pourcentage d'augmentation de la surface cultivée en fonction de la surface cultivée par habitant (figure 2).

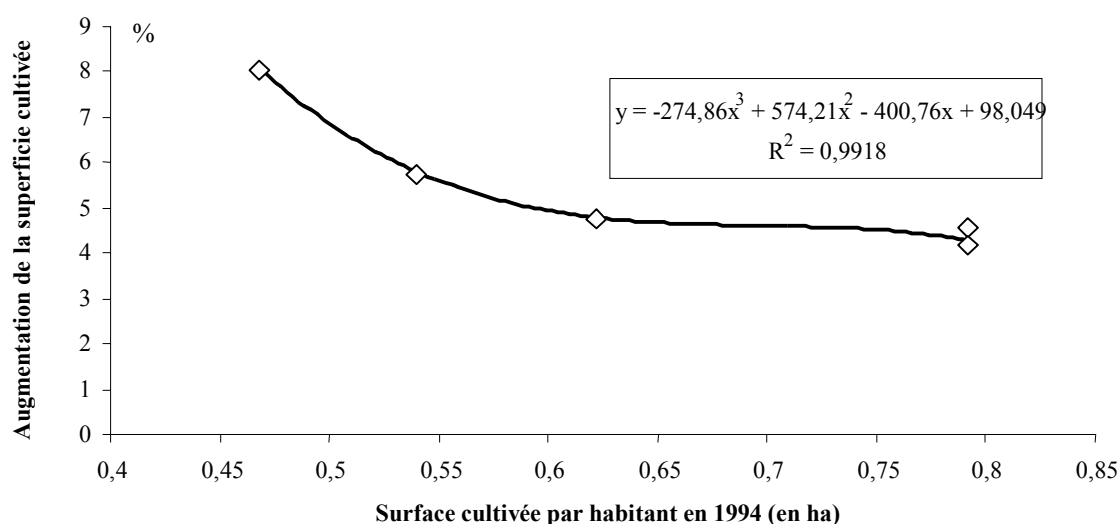


Figure 2. Relation entre l'augmentation moyenne de la surface cultivée de la région et la surface réellement cultivée par habitant en 1994 (Koutiala) d'après (Bazile, 1998)

Le raccourcissement du temps de jachère à l'échelle spatiale des terroirs ou des régions peut être suivi facilement par la connaissance de l'occupation des sols. Cela a été fait au Sénégal, au Mali et au Cameroun, soit sur des terroirs saturés, soit sur des terroirs où la proportion des terres cultivables en friche ou en savane est encore importante. Dans les terroirs saturés, les jachères anciennes ont totalement disparu, alors que dans les terroirs non saturés, les surfaces cultivées (entrant dans le cycle culture jachère) ont plus que doublé en 12 ans. Cet indicateur « occupation des terres », est reconnu très pertinent par de nombreux auteurs (Bodian 1993, Karembé *et al.*, 1998). Donc, dans le cas d'espace, où l'emprise de la culture est encore faible, il semble que dans le cadre d'observatoires du changement, l'évaluation tous les 5 ans de l'occupation des terres est encore un outil très efficace pour le suivi de l'évolution de la pratique de la jachère. A l'inverse, dans les terroirs très saturés où les jachères très courtes sont souvent difficiles à distinguer des champs, le contrôle de l'occupation s'avère insuffisant pour suivre la persistance de cette pratique. Dans ces zones, il existe parmi les substitutions à la jachère des indicateurs tels que l'achat d'intrants, les contrats et les pratiques de fumure, que l'on pourrait utiliser pour le suivi du système.

Autres possibilités d'indicateurs

Les aspects fonciers et les aspects socio-économiques, peut être pas assez étudiés pour l'instant, se prêtent à l'établissement d'indicateurs de l'état des stades du cycle culture jachère. D'une manière générale sur l'ensemble des zones étudiées, outre la pression démographique, c'est l'introduction des cultures de rente qui sont à l'origine de la saturation de l'espace et de la diminution de la pratique de la jachère. Face à ces pressions externes du marché national et international, les systèmes fonciers et usages traditionnels des terres ont du mal à résister à cette économie du marché (arachide, coton, muskuwaari et filière bois). Il en est de même pour les fonctions traditionnelles de production de la jachère, qui dans de nombreuses situations s'apparentaient à la cueillette, ou l'extrativisme. Celles-ci sont en train d'être domestiquées dans de nouveaux systèmes agraires. Suivre l'évolution, dans un terroir, des surfaces des cultures fourragères ou des alignements de haies-vives, c'est faire appel à d'excellents indicateurs de la substitution à la jachère.

Nous pouvons encore citer un exemple démonstratif de l'utilisation d'indicateurs, pouvant aider à la décision, en prenant le cas de N'Goukan au Mali, dans la région de Koutiala (Bazile, 1998). Cet auteur prévoit que l'ampleur des défrichements en cours à N'Goukan doit se poursuivre jusqu'à l'extinction de la ressource ligneuse, car aucune mesure de protection n'est prise pour protéger les formations végétales du terroir (figure 3). Ainsi, la fonction de production de bois de la jachère et des parcs et des haies vives ne sera plus, en 2005, que de 60 t pour le terroir. Cela est dû à l'augmentation des surfaces en culture et à la disparition des savanes et jachères. Entre temps la demande en bois aura triplée.

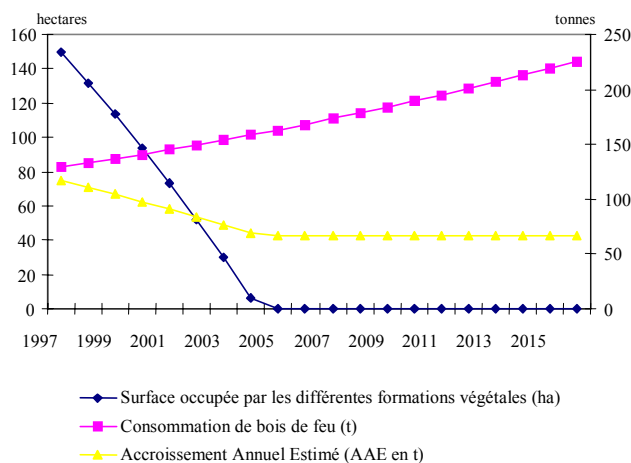


Figure 3. Facteurs d'ajustement de la consommation en bois de feu à la production. Cas du terroir de N'Goukan (Koutiala). Bazile (1998).

Conclusion

Quelles que soient les technologies, les niveaux d'intensité adoptés pour exploiter le milieu rural, l'aménagiste, qui se préoccupe de développement durable doit exercer un contrôle sur l'état des ressources et les dysfonctionnements des écosystèmes et des sociétés. Cependant, pour chaque contrôle, surtout si leur fréquence est importante, le contrôleur ne peut réétudier dans leur ensemble le fonctionnement et l'état des attributs des écosystèmes dont les sociétés ont l'usage (Aronson *et al.*, 1995). Il doit donc mettre en place des méthodes, systèmes et outils simples et pertinents permettant de détecter les seuils d'irréversibilité au-delà desquels les écosystèmes et agrosystèmes sont durablement endommagés et ont peu de chance d'être restaurés ou réhabilités.

On doit reconnaître que, dans l'ensemble, la mise au point et la détermination des indicateurs des stades et faciès du système culture-jachère n'ont pas toujours eu la réussite escomptée. Il faut cependant distinguer les indicateurs globaux, voire régionaux, tels que l'occupation des terres qui dans l'ensemble sont pertinents.

Par contre, si l'on considère l'échelle des champs et des terroirs du système culture-jachère, l'échec de certains bio-indicateurs pressentis est dû :

– à de mauvaises hypothèses de départ ; l'exemple du taux de carbone total du sol en est l'exemple, et les chercheurs concernés, sans abandonner celui-ci, proposent un indicateur à mettre au point sur la base des flux de carbone ;

- à une imparfaite connaissance des cycles biologiques et phénologiques des espèces réputées comme indicatrices lors des études en mode diachrone et synchrone. Quand faut-il observer ?
- à une forte hétérogénéité spatiale du substrat et des couvertures végétales, ainsi que celle de l'utilisation des terres ;
- à une imparfaite connaissance de l'histoire agricole des parcelles et des terroirs lors des études en mode synchrone ;
- à la difficulté de différencier ce qui est dû aux perturbations naturelles de ce qui est imputable aux interventions de l'homme lorsque les indicateurs intègrent le signal des deux types de causes des changements ;
- et enfin aux difficultés à résoudre parfaitement les problèmes liés aux échelles de temps, en particulier celui de la fréquence d'observation des bio-indicateurs. En effet certains de ceux-ci ne deviennent pertinents que sur le temps long (échelle de la génération humaine), alors que d'autres très sensibles doivent être observés à des fréquences très rapprochées pour être significatifs et intégrer les cycles saisonniers.

Par ailleurs, la prise en compte des interprétations que font les ruraux concernant certains biosignaux de leur environnement et dans la gestion de leurs ressources est un recours indispensable au suivi du changement. Ce n'est pas chose facile car l'appréciation paysanne de la fertilité n'est pas forcément corrélée avec le rendement de la parcelle ; les champs considérés comme fertiles sont souvent ceux où le degré de pénibilité de travail est le moins fort. Par ailleurs, l'intensification conduit à une perte des connaissances paysannes pour les indicateurs végétaux et animaux et à un certain nivellement dans l'appréciation du niveau de fertilité des parcelles. Cependant, il faut que l'agriculteur et le décideur organisent une démarche commune du suivi de l'environnement rural, grâce à des indicateurs paysans fiables : c'est une des conditions du succès de l'appropriation des innovations lors de la transition agraire.

Bibliographie

ABRAMSON N., 1963. Information theory and coding. Mc Graw Hill, 201 p.

ARONSON J., FLOC'H E., OVALLE C., PONTANIER R., 1995 : Restauration et réhabilitation des Ecosystemes dégradés en zones arides et semi- arides. Le vocabulaire et les concepts. *In* L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? Pontanier, M'Hiri, Aronson, Akrimi, Le Floc'h (éds.). John Libbey Eurotext, Montrouge, France, p. 11-29.

Aronson J., Floret C., Le Floc'h 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*, 1 : 8-17.

BAZILE D., 1998. La gestion des espèces ligneuses dans l'approvisionnement en énergie des populations. Cas de la zone soudanienne du Mali. Université de Toulouse Le Mirail. UFR de Géographie. Thèse de Géographie. 338 p.

BICK H., 1982. Bioindikatoren and Unewelt Schutz Dechemania. Berhefte (Bonn) 26 : 2-5.

BODIAN A., 1993. Influence de la mise en défens sur la végétation des jachères anciennes de savanes dans la région du Sine Saloum. Mémoire de confirmation chercheur ISRA-Productions forestières, Sénégal, 40 p.

CHOTTE J. L., MASSE D., PONTANIER R., BELLIER G. 1997. Transformation durant la jachère de l'horizon superficiel (0-10) d'un sol ferrugineux du bassin arachidier sénégalais (Thyssé Kaymor). *In* Actes de l'Atelier Jachère et maintien de la fertilité. Floret et Pontanier (éds.). Atelier, 02-04 octobre 1997, Bamako, Mali. ORSTOM, Dakar, Sénégal, p. 41-45.

CHRISTENSEN B.T., JOHNSTON A.E., 1997. Soil organic matter and soil quality Lessons learned from long-term experiments at Askow and Rothamsted in soil quality for crop production and ecosystem health. Gregorich and Carter eds. *Developments in Soil Science* 25 : 399-430.

D'HERBES J.M., LOIREAU M., GAYTE O., 1997. Utilisation du SIE-ROSELT dans l'évaluation de la gestion des Ressources Naturelles Renouvelables. Atelier régional Harmonisation des outils méthodologiques de collecte, de suivi et d'analyse des données agro-socio-économiques en Gestion des Ressources Naturelles (GRN), INSAH, CILSS, 19-21 février 1997, Dakar, Sénégal.

DONFACK P., 1998. Végétation des jachères du Nord-Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, production. Thèse d'état, université de Yaounde 1. 225 p.

DONFACK P., SEIGNOBOS C., 1996. Des plantes indicatrices dans un agrosystème incluant la jachère : les exemples des Peulhs et des Giziga du Nord Cameroun. *Journal agric. trad. et de bot. appl.* XXXVIII (1) : 231-250.

DUBOISSET A., 2000. Composition et diversité de la macrofaune des vertisols du Cameroun Septentrional au cours du cycle culture/jachère. *In La Jachère en Afrique tropicale*, C. Floret et R. Pontanier, (éds.), John Libbey Eurotext, Montrouge, France.

FELLER C., 1995 : La matière organique du sol et la recherche d'indicateurs de la durabilité des systèmes de culture dans les régions tropicales semi-arides et sub-humides d'Afrique de l'Ouest. *In Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions*. Ganry et Campbell (éds.). SCOPE/UNEP/CIRAD/Coop. France, p. 123-130.

FLORET C., PONTANIER R., SERPANTIE G., 1993. La jachère en Afrique tropicale. Dossier MAB n° 16. UNESCO, Paris, France, 86 p.

FLORET C., PONTANIER R., (éds.), 2001. La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives : 2. De la jachère naturelle à la jachère améliorée : le point des connaissances. IRD, John Libbey Eurotext, Montrouge, France, 355 p.

FOURNIER A., FLORET C., GNAHOUA G.M., 2001. Végétation des jachères et succession post-culturale en Afrique tropicale. *In La jachère en Afrique tropicale*. 2. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances. Floret et Pontanier (éds.), IRD, John Libbey Eurotext, Montrouge, France, p. 123-168.

FROSIO C., 2000. Les perceptions paysannes de la fertilité des sols au Nord-Cameroun DEA. Univ. Géographie, Paris IV, 93 p.

HAMAN O., SEINY BOUKAR L. 1992. Enquête sur la dégradation des vertisols dans le Nord-Cameroun. IRA/CRA Maroua, 52 p.

KAREMBE M., YOSSI H., BALLO M., COULIBALY M., 1998. Jachère et système d'élevage en zone soudanienne du Mali. Cas du terroir villageois de Missira. *In Floret C. et Pontanier, R. (éds.). Jachère et systèmes agraires. Actes de l'atelier international, Niamey, Niger, 30 septembre-2 octobre 1998. Niamey, Dakar : Faculté d'Agronomie, IRD, CORAF, Union Européenne, Dakar, pp 111-122.*

LAVELLE P., VILLENAVE C., ROULAND C., DEROUARD L., 2000. Dynamique des peuplements de macrovertébrés du sol aux diverses étapes de la jachère en Afrique Tropicale. *In La Jachère en Afrique tropicale*, C. Floret et R. Pontanier (éds.), John Libbey Eurotext, Montrouge, France

LAWTON J.H., BIGNELL D.E., BOLTAN B., BLOEMERS G.F., EGGLETON P., HAMMOND P.M., HODDA M., HOLT R.D., LARSEN T.B., MAWDSLEY N.A., STORK N.E., STRIVASTAVA D.S., WATT A.D., 1998. Biodiversity Inventories, Indicators Taxa and Effects of Habitat Modification in Tropical Forest. *Nature* 391 : 72-76.

LOIREAU M., 1998. Espace, Ressources, Usages : Interactions milieux et sociétés dans le Sahel nigérien. Thèse Doctorat, géographie, Université Paul Valéry, Montpellier 3, 411 p.

OADES J.M., WALTERS L.J., 1994. Indicators for Sustainable Agriculture Policies to Paddock. *In Soil Biota. (management in sustainable farming systems)*. Pankhurst, Doube Gupta, Grace eds. CSIRO Australia : p. 219-223.

PATE E., 1997. Analyse spatio-temporelle des peuplements de nématode du sol dans les systèmes de culture à jachère, au Sénégal. Thèse Doct. Université Claude Bernard – Lyon 1.

RUIZ L., GANRY F., WENEUKEM V., OLIVER R., SIBAND P, 1993. Recherche d'indicateurs de fertilité azotée des terres. *In Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions*. Ganry et Campbell (éds.). SCOPE/UNEP/CIRAD/Coop. France, p. 111-121.

SOUMANA I., 1992. Comment les paysans différencient-ils les sols fertiles des sols pauvres au Niger ? Séminaire sur les recherches au sylvo-pastoralisme au Sahel. Dakar 7-12 mai 1992, Projet RCS Sahel Dakar ; Unesco-MAB, Paris.