

Les bio-indicateurs du fonctionnement et du changement du milieu rural

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*. 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 la région, présente l'utilisation de quelques indicateurs utilisés pour le suivi des états du cycle culture-jachère.

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.

Plus tard, MAIRE et POMEL (1994) distinguent enregistreurs du milieu et indicateurs d'état et de fonctionnement qu'ils différencient par des critères

Quelques
généralités sur
l'observation et
les bio-indicateurs
du changement
du milieu rural

**Définitions
d'indicateurs**

de temps et de durabilité de marquage des processus. Pour ces deux auteurs, le milieu a la possibilité d'enregistrer sa propre histoire. Ainsi, l'évolution des paysages agraires au cours des temps peut s'appréhender par l'étude des profils pédologiques, excellents enregistreurs grâce aux dépôts détritiques non putrescibles (charbons, pollens, sels carbonatés, débris d'activités anthropiques ou zoologiques, etc.) qu'ils n'hésitent pas à nommer indicateurs. Ceci n'empêche pas ces mêmes auteurs de considérer que la fonction principale des indicateurs est de renseigner, à un moment donné, l'observateur sur l'état et le fonctionnement du milieu. Ils distinguent ainsi des indicateurs d'utilisation et gestion des ressources, des indicateurs des couvertures végétales et des indicateurs d'état des couvertures pédologiques, sur la base de caractères physico-hydriques, biochimiques ou biologiques.

Ces différents indicateurs peuvent être utilisés de façon directe, mais c'est surtout de manière indirecte qu'ils sont le plus souvent employés ; par exemple, certains protozoaires sont utilisés comme indicateurs phénologiques du sol (BICK, 1982).

LOIREAU *et al.* (1997) et LOIREAU (1998), à propos d'indicateurs utilisés dans le cadre d'études d'unités spatiales de référence en zone soudano-sahélienne, et dans le cadre d'observatoires au nord et au sud du Sahara, 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 : (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. Ces indicateurs sont admis par les différentes commissions pour le développement durable, la Banque mondiale, le Programme des Nations unies pour le développement (Pnud), etc.

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, certains nécessitent des coûts d'observation multipliés par cent par rapport aux plus économiques, ceci pour obtenir le même résultat. Ils concluent donc à la nécessité de simplification et surtout de sélection rigoureuse lors du choix des indicateurs.

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, le plus souvent 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, si elle est possible, à des niveaux inférieurs ou supérieurs doit toujours être faite avec prudence et obéir à un certain nombre de règles de cohérence.

La figure 18 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.

Échelles spatiales

L'observation de certains processus environnementaux ou sociaux nécessite des temps très longs pour que l'observateur puisse 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 et JOHNSTON, 1997).

Échelles de temps

À 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 plurianuels ou plurisaisonniers, voire journaliers (mode diachrone), l'observateur s'attachera à noter à la fréquence adéquate les variations des indicateurs les plus pertinents (STABEN *et al.*, 1997).

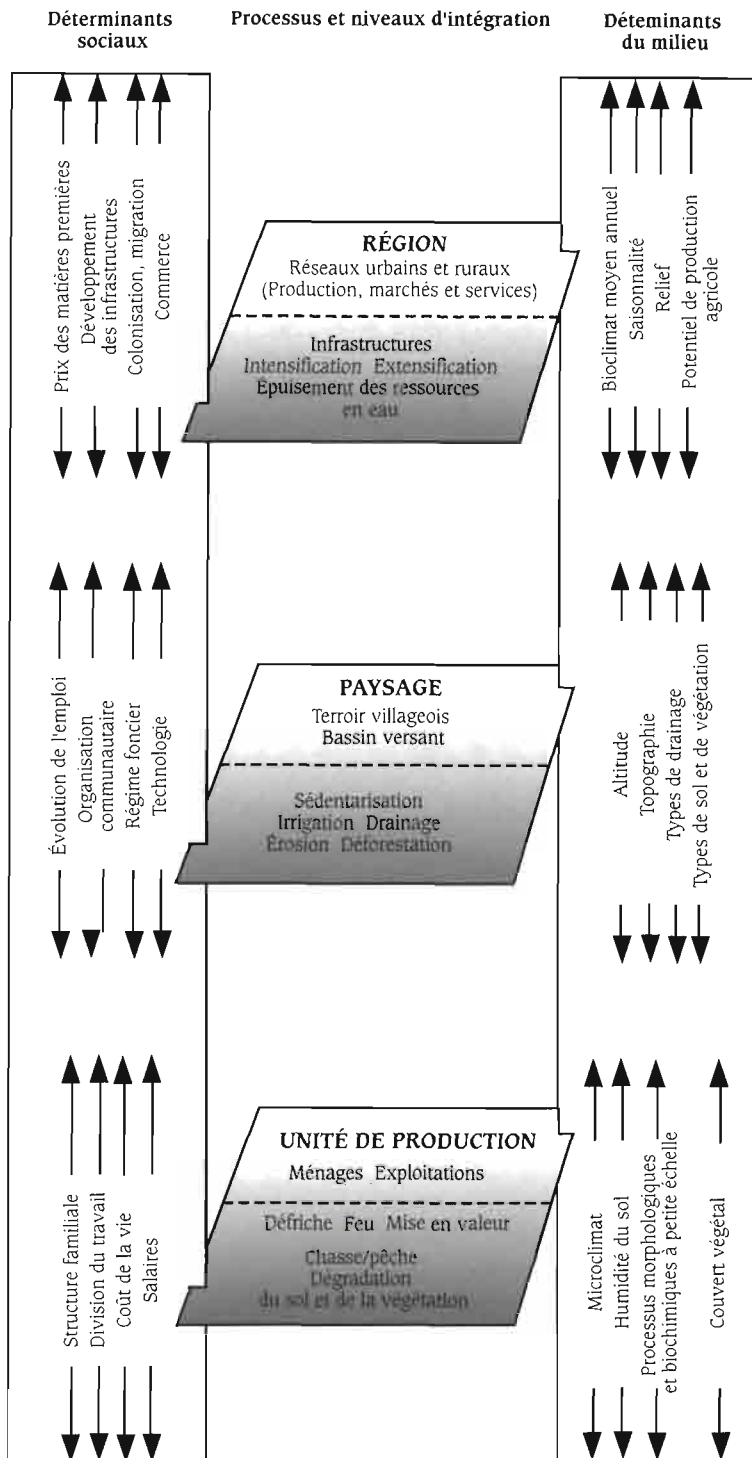


FIG. 18 — Déterminants sociaux et écologiques et niveaux d'intégration (d'après LOIREAU *et al.*, 1997).

Dans les préoccupations liées au temps, il faut souligner, à l'occasion d'études comparatives, l'importance qu'il y a à 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.).

Les indicateurs sont naturellement identifiés à partir des processus d'évolution et des dynamiques que l'on a choisis de suivre. La mise au point d'indicateurs conduit souvent à des opérations lourdes pour des résultats décevants. En effet, on établit alors des corrélations entre le processus et un ou plusieurs éléments de contrôle du même processus sans prendre en compte les interactivités pouvant exister entre les différents compartiments (par exemple, contrôler l'accroissement de l'aridité d'un système par le seul suivi du profil hydrique du sol, sans tenir compte du couvert végétal, ou de la porosité biologique du sol...).

Aussi, on a souvent recours à l'élaboration d'indicateurs indirects, surtout s'ils sont plus facilement identifiables et mesurables. Ainsi, la mise en œuvre de la caractérisation et du suivi de l'anthropisation d'une forêt primaire, très lourde par les seules méthodes des forestiers, peut être étudiée par d'autres groupes fonctionnels très différents de l'écosystème tels que oiseaux, nématodes, papillons, rongeurs (LAWTON *et al.*, 1998), dont on a, par l'analyse statistique, corrélié les états à ceux de la forêt.

Identification et élaboration d'indicateurs

L'identification et la mise au point d'outils pratiques et simples d'emploi, permettant de caractériser l'état des ressources et du fonctionnement des différents stades du cycle culture-jachère, ont été prises comme exemple. Ces outils, que nous appellerons indicateurs, doivent aussi permettre, une fois validés, d'établir facilement et rapidement, en fonction des différents âges, des diagnostics sur l'évolution des processus à suivre. Ceux-ci concernent l'augmentation ou la baisse de la fertilité des sols, les dynamiques des couvertures végétales, l'enrichissement et l'appauvrissement de la richesse spécifique, les dynamiques et adaptations aux changements de la microflore, de la mésofaune du sol, l'évolution de l'occupation des terres en relation avec l'anthropisation et l'artificialisation du milieu et

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

l'utilisation des ressources. Si dans un premier temps, l'effort a porté sur des indicateurs concernant les sols et ses organismes associés, ainsi que sur la végétation, très vite l'équipe a élargi son champ d'investigation aux aspects concernant l'utilisation et la gestion des ressources.

Le cycle culture-jachère en Afrique de l'Ouest

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 (FLORET *et al.*, 1993). La phase de jachère (de 10 à 30 ans, selon la pluviosité de la zone) qui suit la culture permet la remonte 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 très important dans la conservation de la biodiversité et pour la gestion sociale des terres.

Ce système culture-jachère, exemple d'une gestion socio-écologique durable des savanes à très faible usage d'intrants, a bien fonctionné jusqu'à une date récente. Actuellement, la croissance de la population, 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, entraînant un écroulement 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 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 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 (tabl. VII), utilisés pour le diagnostic ou dans des observatoires, sont alors des outils indispensables (FLORET et PONTANIER, 2000, 2001).

Après abandon de la culture, la restauration de la fertilité des terres dans les jachères s'accompagne d'une modification de leur composition floristique ; c'est la succession postculturale. À l'inverse, la remise en culture, en faisant en partie disparaître la strate végétale reconstituée, 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 qui prend en compte la perception que les populations ont des plantes, de l'état des champs et des cultures est la première. La seconde dite statistique, basée sur l'information mutuelle (ACP, AFC), permet d'établir des relations entre des taxons ou des groupements floristiques et les états de fonctionnement et de la qualité du système. Celle-ci permet de mettre en évidence des associations d'espèces caractéristiques des différents faciès d'âge de la jachère ou de la remise en culture.

Les plantes indicatrices des états du système culture-jachère

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 bifforus*... 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, parmi lesquelles certains taxons de l'avifaune, des reptiles, rongeurs et insectes, s'avèrent de bons indicateurs de l'état du milieu.

La démarche anthropologique

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 *kara* cultivés en sorgho de contre-saison (*mouskouari*), des listes locales de plantes témoins, dont la plupart ont été validées par l'approche statistique.

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 1 200 mm), sur 321 parcelles échantillonnées 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.

Par contre, affinant son échantillonnage par zone climatique et par grands types de sols, cet auteur ne confirme pas tout à fait les résultats précédents, et propose pour trois écorégions du Nord-Cameroun les espèces indicatrices du temps de jachère installées sur des vertisols à argiles gonflantes et sur des sols ferrugineux sablo-argileux.

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 pour les autres pays de la zone du projet.

Nous voyons donc qu'il est complètement illusoire de prétendre établir une liste universelle de plantes indicatrices pertinentes des stades du cycle culture-jachère pour l'ensemble des zones tropicales. Nous avons vu que la prise en compte de la région écologique et celle des conditions édaphiques améliorerait le rôle de bio-indicateurs des espèces végétales ; celui-ci peut être encore affiné par la prise en compte, au niveau du terroir, de la perception qu'ont des différents taxons les paysans et éleveurs. Ces deux approches devraient être menées de front ou même agrégées pour plus d'efficacité dans le diagnostic.

Les différents états du cycle culture-jachère peuvent être enregistrés par certaines caractéristiques du sol (tabl. VII).

La jachère est un processus actif de régénération de la fertilité, reposant essentiellement sur des mécanismes biologiques qui régissent les bilans du carbone organique. Ainsi, 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'étude de dynamiques saisonnières, et de quantification des flux de carbone traversant le système sol. On peut utiliser le carbone comme indicateur, mais il faut l'employer de façon dynamique et non statique.

Toujours concernant les indicateurs physico-hydriques du sol, CHOTTE *et al.* (1997) cherchent à caractériser différents stades du cycle jachère/culture par la porosité, l'agrégation en relation avec le carbone organique. Sur une grappe de jachère étudiée en mode synchrone sur un sol ferrugineux (Dior) du bassin arachidier du Sénégal, ils étudient les modifications de l'horizon superficiel (0-10 cm). Ils constatent que les teneurs en C et N des sols sous jachère sont plus élevées que sous culture. C'est pour la jachère de 19 ans que les valeurs sont les plus élevées. Les valeurs des rapports C/N avoisinent 17 sous jachère. Elles sont légèrement supérieures (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 $> 2\,000\ \mu\text{m}$ est significativement la plus abondante dans la situation jachère de 19 ans. Elle représente respectivement 29 % et 7 % du poids du sol total des situations 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 $50\text{-}2\,000\ \mu\text{m}$) représentent respectivement 70 % et 46 % du poids du sol pour 19 ans et 3 ans de jachère. La classe micro-agrégée $2\text{-}50\ \mu\text{m}$ est près de deux fois plus abondante à 19 ans qu'à 3 ans. À l'inverse, la quantité d'argile dispersée est 5 fois plus élevée pour 3 ans que pour 19 ans.

En résumé, dans les sols ferrugineux sableux du terroir arachidier du Sénégal, l'arrêt des cultures et l'installation d'une jachère naturelle mise en défens modifient la constitution et l'organisation de l'horizon supérieur du sol. 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.

Quelques indicateurs physiques et biochimiques des sols

Bilan et stockage du carbone organique

Modification de l'horizon superficiel du sol

Caractéristiques chimiques — Matière organique — CEC, bases échangeables — Phosphore, carbone — Azote — C/N — Matière organique sur fractions granulométriques — pH
Caractéristiques physiques — Densité apparente — PF — Courbes de retrait — Agrégation, stabilité structurale
Caractéristiques hydriques — Infiltrabilité — Calendrier des réserves hydriques — Indicateurs biologiques
Végétation Végétation épigée — Composition floristique — Plantes indicatrices traditionnelles — Biomasse herbacée — Recouvrement Végétation hypogée — Biomasse racinaire — Fertilité en pots
Faune du sol Nématodes — Inventaire — Dynamique des populations Termites — Inventaire — Activité Lombrics — Inventaire — Biomasse Macrofaune (autres) — Inventaire — Biomasse
Microflore — Rhizobiums, mycorhizes
Activité biologique ou microbiologique — Biomasse microbienne - Respirométrie, minéralisation C et N

Tabl. VII —
Indicateurs physiques,
chimiques et
biologiques
pour le suivi
et la caractérisation
des états du cycle
culture-jachère.

PATE (1997) affirme que les nématodes du sol sont d'excellents décrypteurs du fonctionnement et de l'état des stades du cycle culture-jachère. Elle leur confère une pertinence meilleure que celle attribuée aux indicateurs floristiques. Dans la succession postculturale, on assiste par exemple à un remplacement des phytoparasites des cultures *S. Cavenessi* et *T. gladiolatus* par d'autres, *C. curvata*, *T. mashoodi*, etc., apparemment dans la même niche écologique. Il s'agit non pas d'une diminution du peuplement, mais d'un changement spécifique. Cependant, pour une utilisation pertinente de ces indicateurs, il est nécessaire d'avoir une parfaite connaissance du peuplement global et de son évolution saisonnière au cours de l'année.

Étudiant 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 sur un même lieu d'étude, les observations, faites en fonction du calendrier pédohydrique, peuvent être utilisables comme indicateurs, mais difficilement extrapolables à d'autres terroirs ou régions.

DUBOISSET (2000) montre que, dans le Nord-Cameroun, le défrichement et la culture, en détruisant les termites humivores et lignivores, favorisent le développement des champignonistes, et qu'après 7 années de culture continue, une mise en jachère protégée de 5 années suffit pour voir revenir les peuplements initiaux de termites. La connaissance du cycle biologique des espèces, reliée à celle du pédoclimat, est absolument nécessaire pour établir la relation *indicateur population termites/état du stade cycle culture-jachère*.

Le suivi du raccourcissement du temps de jachère et de ses conséquences sur les paysages et sociétés agraires, à l'échelle des terroirs ou des régions agro-écologiques, peut se faire avec des indicateurs d'état et de suivi socio-économiques, environnementaux et de gestion des ressources.

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 cependant 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 disponibilité en terres qui contribue au maintien d'une agriculture intensive, ou de son

Éléments de la mésafaune et de la macrofaune des sols

Nématodes

La macrofaune invertébrée du sol

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

Pression démographique et occupation des terres

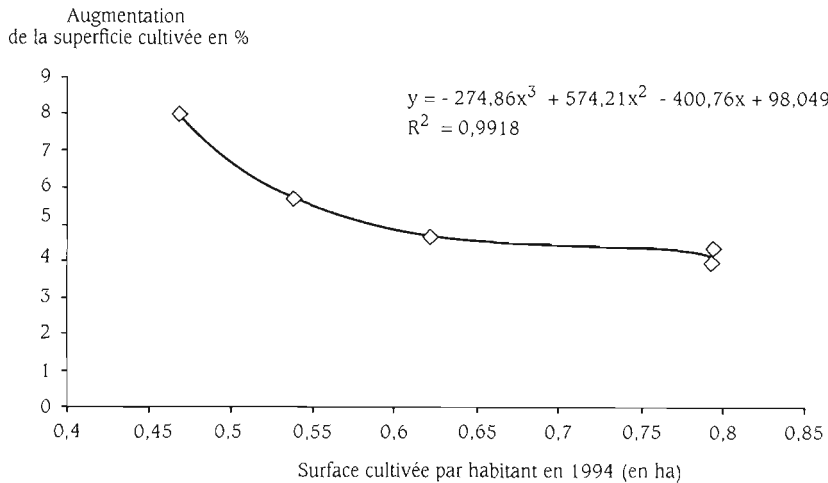


FIG. 19 — Relation entre l'augmentation moyenne de la surface cultivée de la région et la surface réellement cultivée par habitant en 1994 (Koutiala) d'après BAZILLE (1998).

intensification, il propose une relation pour définir le pourcentage d'augmentation de la surface cultivée en fonction de la surface cultivée par habitant (fig. 19).

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. Ceci 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'espaces où l'emprise de la culture est encore faible, il semble que dans le cadre d'observatoires du changement, l'évaluation tous les cinq ans de l'occupation des terres est encore un outil très efficace pour le suivi de l'évolution de la pratique de la jachère. À 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.

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 l'économie du marché (arachide, coton, mouskouari 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.

Autres possibilités d'indicateurs

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 n'est prise pour protéger les formations végétales du terroir (fig. 20). Ainsi, la fonction de production de bois de la jachère, des parcs et des haies vives ne sera plus, en 2005, que de 60 t pour le terroir. Ceci est dû à l'augmentation des surfaces en culture et à la disparition des savanes et jachères. Entre temps, la demande en bois aura triplé.

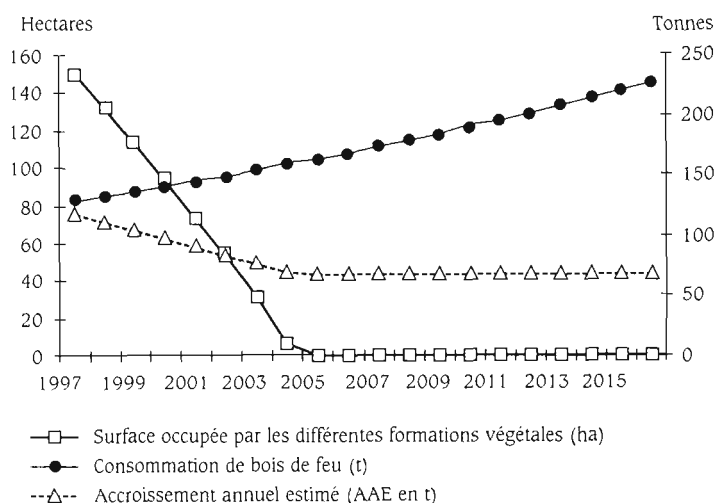


FIG. 20 — Facteurs d'ajustement de la consommation en bois de feu à la production. Cas du terroir de N'Goukan (Koutiala). D'après D. BAZILLE (1998).

Conclusions

Quels que soient les technologies et 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.

Parmi les outils possibles, nous avons cité et choisi ici principalement les bio-indicateurs suivis dans des observatoires sur le long terme.

Nous nous étions posé un certain nombre de questions concernant l'enregistrement par le milieu et les paysages ruraux de leur propre histoire d'utilisation, méthode qui peut confirmer ou infirmer les enquêtes auprès des sociétés ; l'essentiel est listé ici :

- le milieu naturel a-t-il la possibilité d'enregistrer sa propre histoire, et de laisser des traces et indices durables de celle-ci ? À cette question la réponse est oui ; cet enregistrement se fait par les constituants du sol, les traces de pratiques culturelles, les graines et pollens de plantes cultivées ou d'envahisseurs, etc. La pertinence de ces indices peut durer des décennies, voire des siècles ;
- l'observateur peut-il évaluer et quantifier les changements d'état et les modifications de fonctionnement du milieu rural induits par les interventions de l'homme et les perturbations naturelles ? Comment ? Soit de manière directe, soit indirecte ;
- quelles doivent être les qualités des bio-indicateurs ? Nous avons vu que pertinence, fiabilité et stabilité avec une utilité caractérisée par une simplification étaient les qualités à privilégier ;
- les bio-indicateurs doivent-ils être sélectionnés sur des démarches écologiques et statistiques uniquement mises en place par des agronomes et scientifiques et existe-t-il une démarche anthropologique permettant d'identifier des bio-indicateurs paysans, que des générations d'agriculteurs ont su sélectionner et affiner ? Les deux démarches doivent se compléter ;
- quelles échelles de temps, d'espace doit-on adopter ? Ce choix dépend-il de la sensibilité des bio-indicateurs ? Nous devons être très prudents dans nos choix. Par exemple si pour un suivi, la végétation est

privilégiée, il est évident que le bio-indicateur « couvert végétal » très sensible aux perturbations anthropiques et naturelles, mais très peu stable, sera au-delà de l'observation annuelle peu pertinent. Par contre, les différents indices concernant la biodiversité végétale auront une pertinence sur le temps long ;

- quel bio-indicateur choisir ? Quand plusieurs sont pertinents sur les mêmes dynamiques : le moins cher, le plus simple à mettre en œuvre doit être retenu ;

- le bio-indicateur est-il l'outil de base de l'observatoire du changement ; comment le faire évoluer ou modifier, si la nature des interventions humaines change ? Problèmes du recalibrage des observations sur des observatoires intégrant en mode rétrospectif des données très anciennes ?

- lorsqu'un bio-indicateur répond indifféremment aux perturbations naturelles et aux interventions de l'homme, est-il possible de faire la part des deux causes ? Un bio-indicateur est-il plus pertinent sur le temps long que sur le temps court ?

On doit reconnaître que dans l'ensemble la mise au point et la détermination des bio-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 un, et les chercheurs concernés, sans abandonner celui-ci, proposent, un indicateur à mettre au point sur la base des flux de carbone ;

- à une parfaite 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 connaissance imparfaite 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 bio-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 des populations rurales concernant certains biosignaux de leur environnement et de la gestion de leurs ressources est indispensable au suivi du changement. En effet, 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.

Références

- ABRAMSON N., 1963 – *Information theory and coding*. Mc Graw Hill, 201 p.
- ARONSON J., LE FLOC'H, E., OVALLE, C., PONTANIER R., 1995 – « Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts ». In Pontanier R., M'Hiri A., Aronson J., Akrimi N., Le Floc'h E. (éd.) : *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?*, John Libbey-Eurotext : 11-29.
- BAZILE D., 1998 – *La gestion des espèces ligneuses dans l'approvisionnement en énergie des populations. Cas de la zone soudanienne du Mali*. Thèse de géographie, université de Toulouse-Le Mirail, UFR de géographie, 338 p.
- BICK H., 1982 – Bioindikatoren and Unewelt Schutz Dechermania. *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 ». In Floret C., Pontanier R. (éd.) : *Actes de l'atelier jachère et maintien de la fertilité*, Coraf, Orstom, UE : 41-45.
- CHRISTENSEN B.T., JOHNSTON A.E., 1997 – « Soil organic matter and soil quality lessons learned from long-term experiments at Askow and Rothansted in soil quality for crop production and ecosystem health ». In Gregorich, 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) », Dakar, Insah, CILSS, 19-20-21/02/97.
- DONFACK, P., 1998 – *Végétation des jachères du Nord-Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, production*. Thèse d'État, université de Yaoundé 1, 225 p.

- DONFACK, P., SEIGNOBOS C., 1996 – Des plantes indicatrices dans un agrosystème incluant la jachère : les exemples des Peuls et des Giziga du Nord-Cameroun. *Journal Agric. trad. et de bot. appl.*, 38(1) : 231-250.
- DUBOISSET A., 2000 – « Composition et diversité de la macrofaune des vertisols du Cameroun septentrional au cours du cycle culture/jachère ». In Floret C., Pontanier R. (éd.) : *La jachère en Afrique tropicale*, John Libbey Eurotext : 250-258.
- FLORET C., PONTANIER R., SERPANTIE G., 1993 – *La jachère en Afrique tropicale*. Paris, France, Unesco, dossier MAB n° 16, 86 p.
- FLORET C., PONTANIER R. (éd.), 2000 – *La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagement, alternatives*, vol. 1. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999. Paris, IRD/John Libbey, 778 p.
- FLORET C., PONTANIER R. (éd.), 2001 – *La jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances*, vol. 2. Paris, IRD/ John Libbey, 340 p.
- HAMAN O., SEINY BOUKAR L., 1992 – *Enquête sur la dégradation des vertisols dans le Nord-Cameroun*. IRA/CRA Maroua, 52 p.
- KAREMBÉ M., YOSSE H., BALLO M., COULIBALY M., 1998 – « Jachère et système d'élevage en zone soudanienne du Mali. Cas du terroir villageois de Missira ». In : *Actes du séminaire de Niamey, 1-2 oct.*
- 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 Floret C., Pontanier R. (éd.) : *La jachère en Afrique tropicale*, Paris, IRD/John Libbey : 236-241.
- 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 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 de doctorat, université Paul Valéry, Montpellier.
- LOIREAU M., D'HERBES J.M., 1997 – « Des unités spatiales de référence pour l'étude de la dynamique des relations ressources-usages dans la zone agro-pastorale du Sahel nigérien ». In Auclair L., Gubry P., Picouet M., Sandron F. (éd.) : *Régulations démographiques et environnement*, 5^e Journées démographiques de l'Orstom, Paris, 22-24 sept. 97, Orstom, Ceped, LPE : 45-51.
- MAIRE R., POMEL S., 1994 – « Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale. Concepts et méthodologie ». In Maire R., Pomel S., Salomon (éd.) : *Enregistreurs et indicateurs de l'évolution en zone tropicale*, Presses universitaires de Bordeaux : 11-26.
- PATE E., 1997 – *Analyse spatio-temporelle des peuplements de nématodes du sol dans les systèmes de culture à jachère au Sénégal*. Thèse de doctorat, université Claude Bernard-Lyon-1.
- RUIZ L., GANRY F., WENEUEKEM V., OLIVER R., SIBAND P., 1993 – « Recherche d'indicateurs de fertilité azotée des terres ». In Ganry, Campbell (eds) : *Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions*, Scope/Unep/Cirad/Coop. France : 111-121.
- SOUMANA I., 1992 – « Comment les paysans différencient-ils les sols fertiles des sols pauvres au Niger ? ». Séminaire sur les recherches du sylvo-pastoralisme au Sahel, Dakar, 7-12 mai 1992, Projet RCS Sahel Dakar, Unesco-MAB Paris.
- STABEN M.L., BEZDICEK D.F., SMITH J.L., FAUCI M.F., 1997 – Assessment of soil quality in Conservation Reserve Programme and Wheat-Fallow soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61 : 124-130.

latitudes 23

Environnement et sociétés rurales en mutation

Approches alternatives

Éditeurs scientifiques

Michel Picouet, Mongi Sghaier, Didier Genin,
Ali Abaab, Henri Guillaume, Mohamed Elloumi

IRD
Éditions

Sommaire

Préface	9
Introduction	11

POPULATIONS RURALES ET ENVIRONNEMENT : THÉORIES, CONCEPTS ET MÉTHODOLOGIES

Le renouvellement des théories population-environnement	17
<i>Michel PICOUET, Stanislas BOISSAU, Bernard BRUN, Bruno ROMAGNY, Georges ROSSI, Mongi SGHAIER et Jacques WEBER</i>	
Dynamique des populations et évolution des milieux naturels en Tunisie	45
<i>Mongi SGHAIER et Michel PICOUET</i>	
Modes de représentation des stratégies familiales en milieu rural. Une approche méthodologique	63
<i>Didier GENIN, Mohamed ELLOUMI et Michel PICOUET</i>	
L'apport des indicateurs dans l'étude des relations population-environnement en Tunisie	79
<i>Frédéric SANDRON et Mongi SGHAIER</i>	
La spatialisation dans l'étude des relations population-environnement en Tunisie	89
<i>Vincent SIMONNEAUX</i>	
Les bio-indicateurs du fonctionnement et du changement du milieu rural	101
<i>Roger PONTANIER</i>	

ESPACES AGRAIRES ET SOCIÉTÉS RURALES EN MOUVEMENT : DES RÉFLEXIVITÉS INTERROMPUES ?

Les relations entre environnement et sociétés rurales au niveau local. Dépasser l'incomplétude des sens	121
<i>Didier GENIN et Mohamed ELLOUMI</i>	
Changements sociaux et implications environnementales dans la haute vallée du Choapa, Chili	151
<i>Didier DUBROEUCQ et Patrick LIVEAIS</i>	
Le parc national des Cévennes. La population rurale à l'épreuve de la gestion des milieux ouverts	165
<i>Capucine CROSNIER et Christelle GRANGER</i>	
Dynamique et gestion paysanne des parcs agroforestiers dans le bassin arachidier (Sénégal)	185
<i>Astou SÈNE</i>	

Les oasis du Jérid, des ressources naturelles et idéelles	201
<i>Vincent BATTESTI</i>	
Stratégies paysannes et systèmes « exploitation-famille » dans le Nord-Ouest tunisien	215
<i>Laurent AUCLAIR, Mohamed ELLOUMI, Didier GENIN et Michel PICOUET</i>	
Stratégies d'adaptation et reproduction des systèmes agraires en région semi-aride du Chili	235
<i>Philippe HAMELIN et Nicolas d'ANDRÉA</i>	
Agriculture et émigration dans les stratégies productives des <i>jbalia</i> du Sud-Est tunisien	247
<i>Noureddine NASR</i>	
 ENJEUX SUR LES RESSOURCES ET POLITIQUES DE DÉVELOPPEMENT RURAL	
Entre local et global. Pluralité d'acteurs, complexité d'intervention dans la gestion des ressources et le développement rural	261
<i>Ali ABAAB et Henri GUILLAUME</i>	
La gestion d'un milieu forestier. Entre intervention publique et stratégies paysannes (la Kroumirie, Tunisie)	291
<i>Laurent AUCLAIR et Jean GARDIN</i>	
Société locale et État face aux limites de la ressource eau (Nefzaoua, Sud-Ouest tunisien)	307
<i>Joëlle BROCHIER-PUIG</i>	
Enjeux de reconversion rurale dans la Béqaa (Liban). Politiques publiques et cultures illicites	323
<i>Salem DARWICH</i>	
Politiques de développement agropastoral au Maghreb. Enseignements pour de nouvelles problématiques de recherche-développement ?	341
<i>Ali ABAAB et Didier GENIN</i>	
Problématique scientifique, gestion environnementale et politiques de développement rural	359
<i>Pierre CAMPAGNE</i>	
Conclusion	383
Sigles.....	388
Résumé	389
Summary.....	391