MODELE D'ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DES SYSTEMES AGRO-ECOLOGIQUES

Michel GROUZIS et Pierre MILLEVILLE
IRD, BP. 434 - 101 Antananarivo

Résumé :

Un modèle conceptuel d'analyse de la dynamique des systèmes agro-écologiques est proposé pour sous-tendre les recherches sur les processus interactifs entre pratiques d'exploitation du milieu et sa dynamique. Ce modèle se réfère aux modèles de dynamique des systèmes qui mettent l'accent sur les caractéristiques globales du système (diversité, stabilité, résilience...). Il stipule que l'écosystème de référence (forêt dense caducifoliée) soumis à la culture sur abattis-brûlis, évolue vers un système dégradé correspondant aux premiers stades d'abandon cultural. Après abandon, cet écosystème se reconstitue partiellement. Cependant il n'évolue pas vers un système de type forestier mais plutôt vers un système de type savanicole en raison de la réaffectation des terres à d'autres usages (pastoralisme, prélèvement sélectif du bois...).

Pour comprendre les processus en cause et caractériser leur déterminants quatre axes de recherche ont été définis : l'étude des systèmes forestiers de référence, de la phase culturale, de la phase post-culturale et de la dynamique des savanes.

Mots-clés : écosystème - système d'exploitation - perturbation - indicateur - dynamique - modèle - agronomie - écologie

Abstract :

A general model describing the evolution of ecosystems is presented to help to unders tand interactive process between land exploitation and ecological dynamics. This model, based on system dynamics, emphasizes global characteristics of the ecosystem i.e. diver sity, stability, resilience... According to this conceptual model, disturbance of the refe rence ecosystem by a strong and durable human perturbation, such as slash and burn cultivation in our region, leads to a degraded ecosystem. This last, which corresponds to the first stage of fallow, can be partially restored over time. But it does not evolve to a forest system but rather to a savanna system.

To understand the involved process and to characterize their determinants, four research axes were defined : characterization of the forest ecosystem, the study of cultiva ted and fallow phases and the determination of the dynamics of savannas.

Key-words : ecosystem - land exploitation - disturbance - indicator - dynamics - model - agronomy - ecology

Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar
S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo, C. Aubry, CNRE/IRD, Antananarivo, 2001, pp 229 - 238

16 - Sous-bois de la forêt primaire

17 - La phase de brûlis en fin de saison sèche

18 - Champ de maïs au début de la saison des pluies

19 - Le semis

20 - Champ de première année

21 - Champ ancien envahi par les adventices

22 - Récolte du maïs

23 - Résidus de récolte

Les activités de recherche portant sur la compréhension des processus interactifs entre les pratiques d'exploitation du milieu et sa dynamique se réfèrent à un modèle conceptuel d'analyse de la dynamique des systèmes écologiques.

LE MODELE

Parmi les modèles existants (Lepart et Escarré, 1983) permettant de comprendre et prédire le déroulement des successions, on a retenu les modèles de dynamique des systèmes (Walker et Noy-Meir, 1982 ; Grouzis, 1988 ; Aronson *et al.*, 1993a), qui mettent l'accent sur les caractéristiques globales du système (diversité, stabilité, résilience,...), et qui ont été large ment appliqués et éprouvés dans différentes régions du monde (Noble et Slayter, 1980 ; Aronson *et al.*, 1993b ; Le Floc'h et Aronson, 1995). Ces modèles se réfèrent à un écosystème préexistant caractérisé par un état stable alternatif et à différents niveaux de dégrada tion en fonction de l'intensité des perturbations, c'est-à-dire de tout événement qui entraîne, au niveau des caractéristiques d'un écosystème (richesse et diversité spécifiques, structure, biomasse,...), des changements qui s'écartent sensiblement des variations homéostatiques qu'ils subissent habituellement et qui provoquent des modifications du fonctionnement (Frost *et al.*, 1986).

Dans le sud-ouest malgache (région de la forêt des Mikea), l'écosystème de référence est une forêt dense sèche caducifoliée en équilibre avec les facteurs du milieu. C'est un système peu organisé, caractérisé par une forte diversité (richesse floristique d'environ 140 espèces, indice de diversité de Shannon H' # 5, indice de régularité R # 0,80), et mobilisant 120 à 170 $t.ha^{-1}$ de matières sèches sur pied (Rakotojaona, 2000 ; Raherison, 2000). C'est un système "métastable ", c'est-à-dire un système pour lequel les variables d'état, encore appelées descripteurs, indicateurs ou attributs vitaux (Aronson *et al.*, 1995), non seule ment fluctuent peu, mais surtout sont susceptibles de rétablir rapidement leurs valeurs originelles après de légères perturbations.

L'écosystème peu anthropisé, c'est-à-dire la forêt primaire faisant l'objet de prélève ments limités (Figure 1), se trouve profondément bouleversé par la culture sur abattis-brûlis qui se prolonge durant plusieurs années consécutives (Milleville, 1997). Il en résulte une succession régressive aboutissant à l'abandon cultural, justifié par l'altéra tion des conditions de production (enherbement croissant et dégradation des propriétés du sol) et la baisse des rendements qui en résulte. A nouveau peu exploité, cet écosys tème se reconstitue partiellement par rejet de souches des espèces forestières relictuel les et multiplication des plantes herbacées. Le recouvrement du sol par la végétation s'accroît. On pourrait donc s'attendre à un retour plus ou moins rapide à un écosystème de type forestier, comme cela a été largement démontré dans les zones tropicales humides (Sarrailh, 1991 ; Pfund *et al.*, 1997 ; Rasolofoharinoro *et al.*, 1997). Mais les observations contredisent cette hypothèse. Elles montrent au contraire que la dynamique progressive est interrompue, car les abandons culturaux se trouvent réaffec tés à d'autres usages (pastoralisme, prélèvements sélectifs de bois) et soumis au passage récurrent des feux. Un processus de savanisation en résulte et conduit à des savanes boisées, voire à des savanes herbeuses après reprise culturale et élimination de la strate ligneuse. De telles observations demandent, bien entendu, à être étayées par la compréhension des processus en cause et de leurs déterminants.

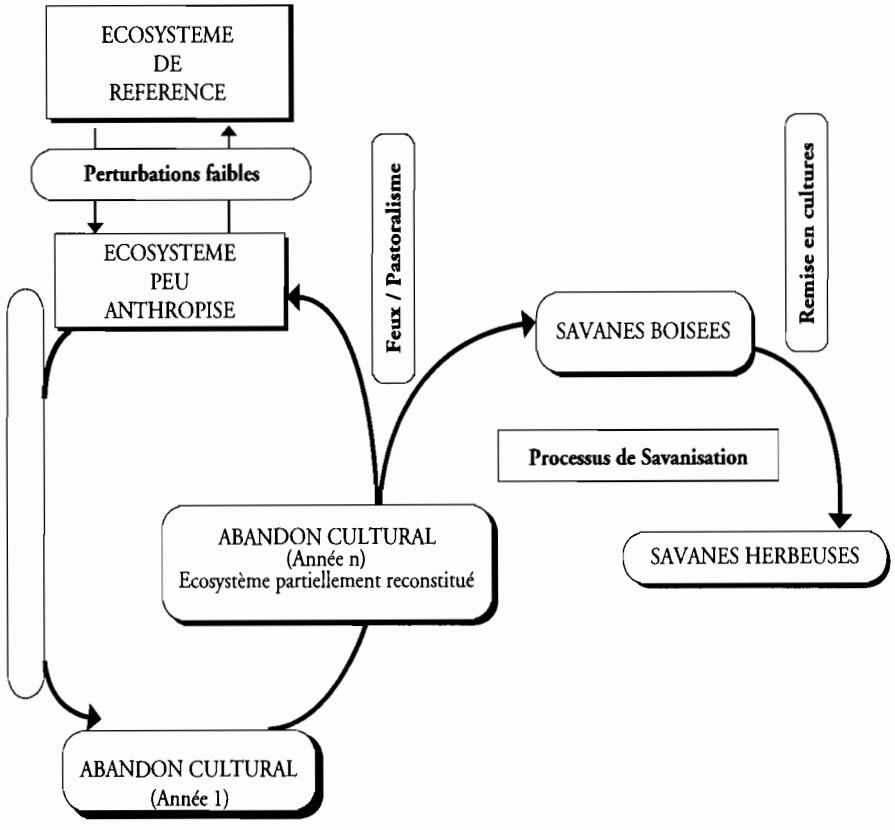

Figure I : Modèle conceptuel d'analyse de la dynamique des systèmes agro-écologiques

LES AXES DE RECHERCHE

Dans ces domaines, les recherches relatives aux pratiques d'exploitation ont été systématiquement couplées à celles qui portent sur la dynamique des milieux, afin d'en préciser les interactions. Elles s'articulent autour de quatre axes.

Les systèmes forestiers

L'objectif poursuivi est de deux ordres : caractérisation conjointe des écosystèmes forestiers et des pratiques de leur exploitation d'une part, évaluation de l'impact sur le milieu de cette exploitation d'autre part. L'étude des pratiques doit préciser les modalités et les niveaux d'exploitation des ressources forestières (bois d'œuvre, bois d'énergie, produits de cueillette). Sur le plan écologique, les études portent sur l'évolution des limites forestières à l'échelle régionale, ainsi que sur la caractérisation, en termes structural (diversité, stratification, structure démographique) et fonctionnel (phénologie, production de phytomasse, chute de litière, état hydrique du sol), des écosystèmes forestiers de

24 - 25 Abandons culturaux, les baobabs vestiges de la forêt

26 - Paysage agraire après défrichement

La phase culturale

Les principaux thèmes abordés en agronomie concernent la conduite et le fonctionnement des systèmes de culture, ainsi que l'évolution et la variabilité des niveaux de rendement du maïs, apprécié à travers ses différentes composantes. Les études écologiques portent d'une part sur la dynamique des populations d'adventices aussi bien sous ses aspects qualitatifs (diversité) que quantitatifs (phytomasse, recouvrement), et d'autre part, sur l'évolution des paramètres physico-chimiques des sols. Les objectifs communs sont multiples : apprécier l'influence de l'évolution des états du milieu sur le fonctionnement du peuplement cultivé, préciser les déterminants de l'abandon cultural, concevoir et tester des alternatives techniques pour une gestion durable du milieu.

La phase post-culturale

Les investigations relatives aux pratiques d'exploitation traitent principalement de la conduite des systèmes d'élevage (incluant la pratique des feux), ainsi que de leurs performances. Les travaux écologiques relèvent de l'étude de la succession végétale secondaire, c'est-à-dire des processus de reconstitution de la végétation après destruction totale ou partielle de la communauté végétale forestière préexistante (Escarré *et al.*, 1983 ; Tatoni *et al.*, 1994 ; Van Andel *et al.*, 1993). Il s'agit, d'une part d'étudier en mode synchronique l'évolution des indicateurs relatifs au peuplement végétal et au milieu édaphique en fonction de l'ancienneté de l'abandon cultural, et d'autre part d'évaluer en mode diachronique l'impact du feu et des usages sur l'évolution des mêmes paramètres. L'objectif commun recherché est la compréhension des phénomènes concernant les capacités de régénération du système et les processus de savanisation. Ces connaissances doivent par ailleurs aider à proposer des alternatives techniques de réhabilitation, en vue d'orienter favorablement les trajectoires d'évolution.

Les systèmes de savanes

Dans le cadre d'une étude expérimentale, l'approche écologique devra vérifier l'hypothèse selon laquelle la suppression du feu et du pâturage peut conduire à une succession progressive. La conduite, le fonctionnement et les performances des systèmes d'élevage, en zones de savane et de contact forêt-savane, la pratique des feux et la conduite des systèmes de culture dans les espaces de savanes nouvellement cultivées, constituent les principaux thèmes de l'approche agronomique. L'objectif consiste par ailleurs à identifier des indicateurs d'évolution et de résilience, de seuils de réversibilité. Des alternatives, en matière de gestion de l'espace pastoral et de maintien de la fertilité des terres dans ces zones de savanes, constituent les attendus de ces travaux de recherche.

LA DEMARCHE

Sans entrer dans le détail de la méthodologie mise en œuvre, nous rappellerons brièvement quelques principes qui ont guidé notre démarche :

- intégrer, plutôt que juxtaposer, approches agronomique et écologique, grâce à l'identification d'objectifs et de sites d'étude communs ;

- associer des études *in situ* et des démarches expérimentales, en vue d'explorer des gammes de variation, de maîtriser certains facteurs et de hiérarchiser leurs effets ;
- combiner des approches synchroniques (par exemple en comparant des parcelles ou des stations écologiques correspondant à différents âges de culture ou d'abandon) à des approches diachroniques (suivi pluriannuel de situations caractéristiques) ;
- évaluer des "effets retour" en caractérisant non seulement l'impact des pratiques d'exploitation sur le milieu, mais aussi les réponses des acteurs aux changements de milieu qu'ils induisent ;
- adopter une démarche comparative, en confrontant nos résultats à ceux obtenus dans d'autres zones de Madagascar (Saboureau, 1960 ; Rasolofoharinoro *et al.*, 1997 ; Pfund *et al.*, 1997 ; Ravaoarinivo, 1998) et dans d'autres régions du monde tropical (Jaffre, 1985 ; de Rouw, 1991 ; Mitja, 1991 ; Donfack *et al.*, 1995 ; Floret et Pontanier, 2000), afin tout particulièrement de mettre en exergue les spécificités des zones sub-humides et sèches.

Dans les différentes contributions qui vont suivre, nous ne rendrons pas compte de tous les aspects abordés. Des résultats relatifs à l'exploitation des ressources forestières (bois d'œuvre et bois d'énergie) et des terres de savanes ayant déjà été exposés dans le thème " Perceptions du milieu et pratiques paysanes ", nous mettrons l'accent sur l'agriculture pionnière sur abattis-brûlis et ses conséquences, qui représente actuellement, et de loin, la cause majeure de déforestation dans le sud-ouest de Madagascar.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALE C. & PONTANIER R., 1993a.- Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of arid and semiarid lands. I. A view from the south. *Restoration Ecology*, 1 (1) : 8-17.

ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALE C. & PONTANIER R., 1993b.- Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semiarid regions. II. Case studies from southern Tunisia, central Chile and northern Cameroon. *Restoration Ecology*, 1 : 168-187.

ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALE C. & PONTANIER R., 1995.- Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts (pp. 11-29). *In* Pontanier R., M'Hiri A., Aronson J., Akrimi N. & Le Floc'h E. (eds.), *"L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?"*, Colloques et Congrès, Sciences et Changements planétaires, Sécheresse. J. Libbey Eurotext., Paris : 455p.

DONFACK P., FLORET Ch. & PONTANIER R., 1995.- Secondary succession in abandoned fields of dry Northern Cameroon. *Journal of Vegetation Science*, 6 : 499-508.

ESCARRE J., HOUSSARD C., DEBUSSCHE M. & LEPART J.- 1983.- Evolution de la végétation et du sol après abandon cultural en région méditerranéenne : étude de successions dans les garrigues du Montpellierais (France). *Acta Oecologica, Oecol. Plant*, 4 (3) : 221-239.

FLORET Ch. & PONTANNIER R., 2000.- *La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagements, alternatives.* Vol. 1. Actes du Séminaire International, Dakar, 13-16 avril, Paris, John Libbey Eurotext : 777p.

FROST P., MEDINA E., MENAUT J.C., SOLBRIG O., SWIFT M., & WALKER B., 1986.- *Responses of savanna to stress and disturbance : A Proposal for Collaborative Programme of Research.* Report of a meeting of an IUBS Working Group on Decade of the Tropics Programme/Tropical Savanna Ecosystems, Harare, 9-13 December 1985. Biology International, Special Issue, 10 : 82p

GROUZIS M., 1988.- *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso).* Coll. Etudes et thèses, ORSTOM, Paris : 336p.

JAFFRE T., 1985.- Composition minérale et stocks de bioéléments dans la biomasse épigée de recrûs forestiers en Côte d'Ivoire. *Acta Oecologica, Oecol. Plant, 6* : 233-246.

LE FLOC'H E. & ARONSON J., 1995.- Ecologie de la restauration : définition de quelques concepts de base. *Nature-Sciences-Sociétés*, hors série : 29-35.

LEPART J. & ESCARRE J., 1983.- La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique. *Bull. Ecol.* 14 (3) : 133-178.

MILLEVILLE P., 1997.- Observations sur l'agriculture pionnière dans le Sud-ouest de Madagascar. Doc. multigr., GEREM, CNRE-ORSTOM, Antananarivo : 11p.

MITJA D., 1991.- *Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotou, Touba).* Coll. Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris : 270p.

NOBLE I.R. & SLAYTER R.O., 1980.- The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to reccurent disturbances. *Vegetatio*, 43 : 5-22.

PFUND J.L., BRAND J., RAVOAVY L. & RAZAFINTSALAMA V., 1977.- Culture sur brûlis : bilan de nutriments et successions écologiques. *Cahier Terre-Tany,* 6 : 68-88.

RAHERISON M.E., 2000.- *Ecosystème forestier de la région d'Analabo (Forêt de Mikea) sur sables roux clairs : structure, production et réserve en eau du sol.* DEA en Sciences Biologiques Appliquées, Option Ecologie Végétale, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, CNRE-IRD : 75p.

RAKOTOJAONA H.L., 2000.- *Ecosystème forestier de la région d'Analabo (Forêt de Mikea) sur sables roux foncés : diversité, structure et dynamique de l'eau dans le sol.* DEA en Sciences Biologiques Appliquées, Option Ecologie Végétale, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, CNRE-IRD : 79p

RASOLOFOHARINORO M., BELLAN M.F. & BLASCO F., 1997.- La reconstitution végétale après agriculture itinérante à Andasibe-Périnet (Madagascar). *Ecologie*, 28 (2) : 149-165.

RAVAOARINIVO N. H., 1998.- *Impacts des feux de végétation sur les faciès forestiers dans la région de Beparasy.* DEA, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo : 62p.

ROUW A. (de), 1991.- *Rice, weeds and shifting cultivation in a tropical rain forest.* Thèse, Université Agronomique de Wageningen : 292p.

SABOUREAU P., 1960.- La forêt malgache peut se reconstituer naturellement. *Bull. Acad. Malgache,* XXXVIII : 78-82.

SARRAILH J.M., 1991.- L'évolution du milieu forestier après déforestation : bilan de 14 années de recherche en Guyane française. *Bois et Forêts des Tropiques*, 227 : 31-35

TATONI T., MAGNI F., BONIN G. & VAUDOUR J., 1994.- Secondary succession of abandoned cultivation terraces in calcareous Provence. I. Vegetation and soil. *Acta Oecologica*, 15(4) : 431-447.

VAN ANDEL J., BAKKER J.P. & GROOT-JANS A.P., 1993.- Mechanisms of vegetation succession : a review of concepts and perspectives. *Acta Bot. Neerl.* 42 (4) : 413-433

WALKER B.H. & NOY-MEIR, 1982.- Aspects of stability and resilience of savanna ecosystems. *In* Huntley B.H. & Walker B.H. (Ed.). *"Ecology of tropical savannas"*, Springer-Verlag, Berlin : 556-590.