

Jean-Claude MENAUT, Section 30

Rapport d'activité (1996 – 2000)

I – Curriculum vitae

Jean-Claude MENAUT, Directeur de recherche CNRS

Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère, UMR 5639 (UPS, CNRS, CNES)

CESBIO, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse cedex 4

Tél : 05.61.55.85.01 ; Fax : 05.61.55.85.00 ; jean-claude.menaut@cesbio.cnes.fr

Responsabilités administratives

1999-2000 : Directeur du Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (UMR CNRS-CNES-UPS)

1997-1998 : Directeur du Département " Ressources, Environnement, Développement " de l'ORSTOM

1995-1996: Directeur du Laboratoire "Structure et fonctionnement des systèmes écologiques " (URA 258, ENS-UPMC-CNRS)

Responsabilités scientifiques (direction de programmes de recherche ; * en cours)

Programmes nationaux

1990-1997: Directeur du programme SALT (I) "Analyse de la dynamique des savanes d'Afrique de l'Ouest: mécanismes sous-jacents et spatialisation des processus" (CNRS-ORSTOM-CNES, avec participation CIRAD, CNRM, ENGREF, IARE et Universités Lille, Lyon, Orsay, Paris VI-VII-XI-XII)

1996: Responsable de la proposition de montage du Programme National Biosphère Continentale (CNRS/PEVS) (avec A. Perrier, INRA)

Programmes internationaux

*1999- : Responsable du montage du programme " Regional Aspects of Global Change ", IGBP inter-core projects action (IGBP/ICSU)

1993-1997: Responsable du programme SALT "SAvannas in the Long Term" (International Geosphere-Biosphere Programme IGBP/ICSU), avec participation France, Sénégal, Mali, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Niger et Allemagne, Australie, Danemark, Etats-Unis, Royaume Uni, Suède, Suisse

1993-1997: Responsable du projet "Modelling tree-grass dynamics: driving forces and consequences on organic matter budget" (SCOPE/ICSU)

Participation à des comités scientifiques

Comités nationaux

Comités français de programmes internationaux

*1998- : Comité français de l'AUPELF-UREF

*1998- : Groupe de travail sur le 5° PCRD " Environnement " (MENRT), animateur du sous-groupe « Changement global, climat et biodiversité » ==> *Commission Européenne*

*1997- : Comité scientifique français de la désertification (Mins. Aff. Etr., Coopération, Environnement, Ens. Sup. et Recherche) ==> *Convention Désertification, Nations Unies*

1995-1997: Comité Technique National "Environnement et programmes communautaires" (Mins. Environnement et Recherche) ==> *Commission Européenne*

- 1994-1997: Comité français pour le "Committee on Data for Science and Technology- CODATA" (COFUSI/Académie des Sciences) ==> *International Council of Scientific Unions (ICSU)*
- 1992-1997: Comité français pour l'Observatoire du Sahara et du Sahel (Mins. Coopération et Recherche) ==> *O.S.S. (Intergouvernemental Europe-Afrique)*
- *1990- : Programmes PIGB (géosphère-biosphère) et PMRC (recherche sur le climat); 1994-1998, Président du comité "Ecosystèmes" (COFUSI/Académie des Sciences) ==> *ICSU et Nations Unies (WMO)*
- 1994-1996: Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM - Mins. Aff. Etr., Coopération, Environnement, Ens. Sup. et Recherche, Finances) ==> *GEF (Banque Mondiale, Nations Unies)*
- 1986-1998: Secrétaire scientifique du Comité français du SCOPE "Scientific Committee on Problems of the Environment - ICSU" (COFUSI/Académie des Sciences) ==> *ICSU*

Programmes nationaux interorganismes

- 1998- 2000 : Programme National Sols et Erosion (PNSE-INSU/CNRS et al.)
- 1994-1997: Programme National de Télédétection Spatiale (PNTS-CNRS/INSU et al.)
- 1990-1996: Programme National de Chimie Atmosphérique (PNCA-CNRS/INSU et al.), responsable du groupe "Emissions et dépôts"

Programmes du CNES - télédétection, hors PNTS

- 1995-1998: Programme "Incitation Spécifique à l'Utilisation des Images SPOT" (ISIS/CNES)
- *1994- : Programme "Terre, Atmosphère, Océan, Biosphère" (TAOB-CNES)

Programmes du CNRS

- 1997-1998: Programme Environnement Vie et Société (PEVS-CNRS) "Ingénierie des systèmes naturels"
- 1997-1998: Programme "Sols et érosion" (PROSE-INSU/CNRS)
- 1994-1998: Programme Environnement Vie et Société (PEVS-CNRS) "Systèmes écologiques et action de l'homme", responsable de la section "écosystèmes, structuration de l'espace et changements globaux"
- 1996: Programme Environnement Géosphère Intertropicale (PEGI-CNRS/INSU et al.)
- 1994-1996 : Programme National de Chimie Atmosphérique (PNCA-CNRS/INSU)

Autres programmes

- *2000- : Président du comité scientifique « Biosphère continentale » de l'ACI Ecologie quantitative (Ministère de la Recherche)
- *1998- : Comité "Gestion et impacts des changements climatiques" (GICC, Min. Aménagement Territoire et Environnement)
- *1997- : Comité CAMPUS (Min. Affaires Etrangères, Coopération & Francophonie)
- 1997: Programme "Sols et Forêts Tropicaux" (SOFT - Min. Environnement)
- 1997: Club Recherche-Industrie, Bureau environnement (représentant du CNRS)
- 1997: Groupe d'évaluation "Demande sociale et problèmes planétaires (ADEME-CEA-Min. Environnement)
- 1996: Comité National de Coordination pour la Recherche au Service du Développement, groupe "développement durable" (CNC-DD)

Comités internationaux

Commission européenne

- 1995-1998: Président du Comité TERICA, chargé de coordonner les activités du programme européen "écosystèmes" (TERI) et de préparer le 5^o programme cadre "Environnement et Climat" de la Commission Européenne (DG XII)

Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU)

- 1993-1997: Président du comité scientifique "Tree-grass dynamics and consequences on organic matter budgets" (SCOPE/ICSU)
- 1992-1997: "Biomass burning experiment" (BIBEX/IGAC - IGBP/ICSU)
- 1990-1996: "Global Change and Terrestrial Ecosystems" (IGBP/ICSU)
- 1993-1996: "BAHC-GCTE-IGAC task team", interactions "écosystèmes, hydrologie, chimie atmosphérique" (IGBP/ICSU)

Nations Unies

1993-1996: Vice-Président du "Scientific and Technical Planning Group for a Global Terrestrial Observing System (FAO, ICSU, UNEP, UNESCO, WMO), chargé des aspects scientifiques et opérationnels

Autres

1991-1998: Comité de pilotage du programme "Réseau d'Observatoires et de Suivi Ecologique à Long Terme" (ROSELT/OSS)

Participations à des comités et conseils au titre de l'ORSTOM (1997-1998)

Conseil d'administration des GIPs ECOFOR, Hydrosystèmes et MEDIAS-France

Conseil scientifique de l'IFREMER

Comité inter-organismes des programmes sur le climat

Comité de direction des programmes PNRH, PNEDC, PNOC, PNRCO, PNEAT, PNDR, JGOFFS-France

Activités de consultance (international)

Expert UNEP, UNESCO, Commission Européenne, IPCC (Groupe Intergouvernemental d'Etude du Climat)

Edition de revues scientifiques

1996-: Comité d'édition "Encyclopedia of Life Support Systems" (UNESCO)

1991-1996: Comité de rédaction "Global Ecology and Biogeography"

II- Travaux et objectifs

1. Activité des dernières années

Activité nationales

Rappel des fonctions exercées

1995-1996 : Directeur de l'URA 258 (UPMC, ENS, CNRS)

1997-1998 : Directeur du Département " Ressources, Environnement, Développement ", ORSTOM/IRD.

1999- : Directeur du CESBIO (UPS, CNRS, CNES)

Les deux années passées à la direction de l'URA 258 et la préparation de sa transformation en UMR m'ont clairement montré la difficulté qu'il y avait à concilier les approches et modes de fonctionnement de deux groupes disciplinaires en écologie (population vs. écosystème). En dépit de mon intérêt profond pour la pluridisciplinarité, je devais sans doute y être insuffisamment préparé bien qu'ayant autrefois participé à la conduite de deux séminaires sur la « Logique et unité de l'écologie » et plus récemment développé une modélisation associant dynamique de population et propriétés fonctionnelles des sols et des couverts végétaux pour élaborer des scénarios d'évolution des écosystèmes sous les pressions climatiques (stress et physiologie végétale) et humaines (perturbations structurales).

En 1997, c'est cependant cet intérêt et quelques propositions conceptuelles et pratiques qui m'ont fait choisir par le Directeur Général de l'ORSTOM pour l'aider à mener la réforme qu'il entreprenait. Il s'agissait pour moi de réunir trois précédents départements (Milieux et activités agricoles, Eaux continentales et Terre-Océan-Atmosphère) et d'établir des synergies entre les différentes disciplines et de favoriser l'établissement de chantiers pluridisciplinaires. L'expérience se termina en 1998 avec l'arrivée d'une nouvelle équipe de direction (Président et Directeur général) qui entreprit une nouvelle et drastique réforme. Il est intéressant de noter que le département R.E.D. que je dirigeais a été scindé en deux nouvelles entités :

- le Département Milieux et Environnement qui couvre la variabilité climatique, les interactions surface-atmosphère, les milieux terrestres (sols & couverture végétale) et les impacts des activités humaines sur l'environnement ;
- le Département Ressources vivantes qui se consacre à l'étude de la biodiversité, des agrosystèmes (amélioration génétique, défense des plantes, biotechnologies) ...

Là aussi, l'écologie « fonctionnelle » (relations sol/océan-plantes-atmosphère, bilans et flux de matière...) se trouve séparée d'une écologie « biologique ». Cette situation n'est pas sans rappeler celle de SdU/INSU qui accueille maintenant le Programme Environnement, des programmes nationaux (PNCA, PNEDC, PNSE, PNTS) qui couvrent, à des niveaux divers, les surfaces continentales qui devraient faire l'objet d'un intérêt marqué lors du colloque de prospective de la CSOA en septembre.

C'est dans ce contexte que j'ai été appelé début 1999 par J.F. Minster, alors directeur SdU/INSU, pour restructurer le Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (UPS, CNRS, CNES et bientôt IRD) à Toulouse. Le CESBIO était alors constitué d'individualités issues de trois groupes distincts (CESR/physique du signal, LERTS/missions spatiales, UPS-SVT/écologie) ne coopérant pas à une vision commune de l'observation et de l'analyse des processus dynamiques et fonctionnels des surfaces continentales. Un an et demi plus tard, ces individualités (complémentaires) se sont organisées en trois équipes thématiques (1 : Données satellitales et extraction des attributs de surface ; 2 : Modélisation 3D du fonctionnement des écosystèmes ; 3 : Modélisation de la composante biosphérique du cycle de l'eau) qui testent hypothèses et modèles sur trois projets transversaux (1 : Bilans et flux de matière - C, H₂O - et d'énergie en région Sud-Ouest) ; 2 : Fonctionnement et

ressource hydro-écologiques en régions semi-arides ; 3 : Variations interannuelles de l'activité végétale à l'échelle globale).

L'objectif général est de parvenir à un schéma de fonctionnement régional spatialement explicite avec :

- Modélisation des bilans et flux de matière (carbone, eau) et d'énergie (suite cohérente de modèles mécanistes intégrés du fonctionnement et de la dynamique des surfaces : processus biophysiques et échelles spatio-temporelles) ;
- Caractérisation et prise en compte de l'hétérogénéité 3D constitutive des échelles de l'écosystème, du paysage et de la région (méthodes d'utilisation des données satellitales pour caractériser les surfaces et leur évolution pour étalonner et piloter les modèles) ;
- Couplage avec la modélisation atmosphérique méso-échelle et les scénarios de changement de mode d'utilisation des terres : impacts sur la surface et rétroactions sur l'atmosphère.

Activités internationales

Au terme de deux mandats successifs, j'ai quitté en 1996 mes fonctions au sein du Comité scientifique du programme international "Ecosystèmes et changements globaux" du PIGB. Mes activités passées en faveur d'approches intégrées des processus et de la prise en compte explicite des échelles spatiales situées entre le local (réactions physiologiques des individus ; modèle "big leaf") et le global (totalement dominé par les modèles de circulation générale) ont conduit la nouvelle direction du PIGB et son comité scientifique à me confier la coordination de la conception d'un nouveau programme sur les aspects régionaux du changement global (impact sur les écosystèmes et les paysages ; rétroaction sur l'atmosphère et couplage avec les modèles atmosphériques méso-échelles). Il s'agit de promouvoir une meilleure prise en compte des interactions entre processus écologiques, biogéochimiques et hydrologiques aux échelles pertinentes. Je compte pour cela m'appuyer sur la communauté française concernée (aide à un certain niveau de structuration scientifique) dont les travaux seraient ensuite facilement valorisés dans le cadre du PIGB.

Activités de recherche

Le texte qui suit cadre mes intérêts intellectuels et mes activités de recherche de ces dernières années (L. Abbadie, J. Gignoux, M. Lepage et J.C. Menaut, à publier). C'est toujours dans cette direction que vont mes activités à venir au CESBIO. Le couplage modélisation (et assimilation de données) – télédétection devrait constituer un outil performant pour progresser dans cette voie.

Lier structure, fonctionnement et dynamique : un défi pour l'étude des écosystèmes

Interactions entre processus plutôt qu'analyse compartimentale

La stabilité des écosystèmes (composition spécifique et abondances relatives, maintien des fonctions) est un des problèmes fondamentaux de l'écologie. La recherche s'est jusqu'à présent surtout focalisée sur les effets de perturbations plus ou moins ponctuelles ou récurrentes sur la stabilité des écosystèmes, qu'elles soient d'origine climatique (sécheresse, tornades ...) ou humaine (défrichement, incendie, pâturage). Le changement global a rendu le problème plus compliqué en provoquant des effets à long terme de stress ou de perturbations permanentes sur les écosystèmes. Dans ce nouveau contexte, il faut être capable de prévoir la réponse des écosystèmes à des changements constants de régimes de perturbations d'origine climatique ou anthropique : pouvons-nous prévoir les modifications de la composition spécifique, de la réorganisation possible des chaînes trophiques, de la capacité de stocker du carbone ou d'émettre des gaz ou de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ? Répondre à ces questions implique de nombreux aspects de l'étude des écosystèmes, de l'écologie des populations à l'écophysologie et aux mesures de flux. De fait, il n'existe pas encore d'approche totalement écosystémique (« whole-ecosystem approach »). La plupart des travaux publiés portent sur des

compartiments ou sur des processus spécifiques (sol, végétation, émissions biogéniques ...). La réponse des couverts végétaux au changement climatique est presque entièrement étudiée au travers des impacts sur la physiologie de croissance des espèces (Warson et al., 1996) et peu de travaux traitent de ces impacts sur la composition spécifique, la compétition et les patrons spatiaux dans une vision démographique (reproduction, survie, fécondité ; Bazzaz, 1996).

Les effets des changements climatiques et des perturbations anthropiques sur la végétation et ses rétroactions sur le climat dépendent de processus agissant à différentes échelles d'espace, de temps et d'organisation biologique (Levin, 1992). Cela rend très complexe la tâche de prévoir les états futurs des couvertures végétales. La réponse de croissance des individus à l'enrichissement en CO₂ est largement compensée, à l'échelle du peuplement, par les interactions compétitives entre ces individus (Körner et al., 1996). Sur le long terme, cet effet tampon est accru à la fois par l'acclimatation des plantes à la concentration du CO₂ de l'air et par les changements de disponibilité en nutriments. A plus long terme encore, la réponse des écosystèmes peut impliquer des changements dans la composition végétale selon la compétition des espèces pour les ressources et l'altération de la physiologie de la reproduction. Deux exemples illustrent ce besoin de coupler des processus très différents dans des modèles permettant de comprendre et prévoir le comportement des écosystèmes : la théorie de la coexistence et le fonctionnement des savanes.

Théorie de la coexistence : Il est essentiel de comprendre les mécanismes de la coexistence à l'intérieur des couverts végétaux et en quoi ils sont modifiés par les variations de l'environnement. De nombreuses théories ont été mises en avant : la compétition pour les ressources (Tilman, 1988), la variabilité du milieu (Chesson, 1986), la structuration spatiale créée et maintenue par les plantes elles-mêmes (Shmida and Ellner, 1984 ; Kohyama, 1993). Ces théories conduisent cependant à des explications concurrentes pour une propriété systémique donnée (les modèles de Tilman et de Chesson expliquent également bien la seule coexistence), alors que les mécanismes séparément décrits par ces modèles agissent simultanément dans la plupart des écosystèmes. Dire d'un côté que différents mécanismes peuvent aussi bien expliquer la coexistence et de l'autre que tous ceux-ci devraient être simultanément présents dans un système donné conduit inéluctablement à la conclusion que les modèles de processus spécifiques doivent être faux (au moins partiellement) ou s'appliquer seulement à des échelles d'espace, de temps ou d'organisation biologique spécifiques. Une description correcte de la coexistence ne peut être atteinte qu'à l'aide de modèles couplant tous les mécanismes majeurs et permettant de quantifier le poids relatif de chacun de ces mécanismes de coexistence dans un écosystème. Une telle synthèse des théories de la coexistence a été faite par Chesson (1994) mais, comme l'avait auparavant dit Stearns (1976) dans un autre contexte, « un effort énorme est mis dans le développement d'idées pour lesquelles personne n'a établi de connections avec le monde réel. Pour progresser, il faut s'éloigner de l'école scolastique ... et revenir à un empirisme rigoureux ». En d'autres termes, la synthèse théorique de Chesson, si elle constitue un important pas en avant, doit maintenant être testée expérimentalement dans des situations réelles où divers types de mécanismes opèrent.

La savane : La savane, un des biomes majeurs du globe, contribue de façon significative au stockage/déstockage de carbone ou aux émissions biogéniques à l'échelle du globe (Menaut et al., 1991). L'équilibre herbe/arbre y est régulé par au moins cinq facteurs (Frost et al., 1986) : (1) compétition pour l'eau, (2) compétition pour les nutriments, (3) feu, (4) herbivorie, (5) stratégies démographiques des herbes et des arbres. Selon le climat, un ou plusieurs de ces facteurs prévaut pour un type de savane, mais aucune règle générale n'a pu encore être trouvée (Walker and Menaut, 1988). Les savanes subissent simultanément différents types de succession, agissant à diverses échelles de temps, produisant de multiples équilibres temporaires, en même temps que des changements non-directionnels d'une autre nature (Walker and Noy-Meir, 1982). Puisqu'une légère modification des facteurs de forçage peut rapidement changer l'équilibre en cours vers l'extrémité herbacée ou ligneuse du continuum herbe/arbre, il est presque impossible de prévoir l'évolution de ces écosystèmes sans un modèle couplant les processus majeurs d'une

part et les facteurs de forçage d'autre part. De même que pour la théorie de la coexistence, le problème n'est pas de détailler tous les processus impliqués pour chaque facteur possible de régulation, mais de coupler les principaux et de comprendre leurs interactions.

Liens entre structure, fonctionnement et dynamique des écosystèmes : un problème d'échelle

Les processus en interaction qui produisent les propriétés de l'écosystème s'étudient selon des logiques différentes (écophysiologie, démographie, micrométéorologie, thermodynamique, évolution, etc.) impliquant des méthodologies différentes (des mesures de flux aux méthodes de capture-recapture) et souvent des barrières entre écoles de pensée (Golley, 1998). Les études d'écosystème se répartissent en trois groupes principaux (structure, fonctionnement, dynamique) et sont généralement conduites sans liens entre eux-ci. Affronter la réalité nécessite de lier ces trois dimensions de l'écosystème.

Les organismes fixés n'interagissent avec leurs voisins qu'au travers de la compétition pour les ressources, le mutualisme, etc. Les propriétés physiques de l'écosystème tout entier sont identiques à celles de l'individu (cf. le concept de « big leaf » ou de « green slime » dans les premiers modèles globaux de végétation) à la condition que le patron spatial des populations, observé à l'échelle adéquate, soit suffisamment homogène (c.à d. si l'on obtient une moyenne statistiquement significative des conditions locales). Si le patron est hétérogène, le comportement de la population, du peuplement, de l'écosystème est une propriété émergente résultant de l'interaction entre les propriétés individuelles et leur distribution dans l'espace (structure spatiale de l'écosystème). Par exemple, l'évaporation d'une forêt peut souvent être calculée comme la moyenne des contributions individuelles, alors qu'en savane le patron très hétérogène des arbres et des transferts radiatifs complexes qu'il induit requiert de prendre explicitement en compte l'arrangement spatial des arbres (arbres isolés, en agrégats ...). De même, en savane, la production primaire nette est élevée en dépit de la pauvreté des sols ; ceci ne peut s'expliquer que par la concentration spatiale des nutriments liée à l'architecture et à la distribution spatiale des végétaux (Abbadie et al., 1992 ; Mordelet et al., 1993).

Les plantes ne subissent pas passivement leur milieu local, elles le créent aussi et le modifient. La structure spatiale d'un écosystème influence les principaux processus physiques (fonctionnement : flux de matière et d'énergie, états hydriques et nutritifs du sol, etc.) dont les plantes dépendent pour leur développement : il y a bien interaction entre structure et fonctionnement. Les plantes ne sont cependant pas de simples machines thermodynamiques ; elles déploient aussi de nombreuses stratégies démographiques. Ce troisième aspect, la dynamique, interagit aussi avec les deux précédents sur de plus longues échelles de temps. D'un côté, la capacité reproductive d'une population (partiellement liée à la physiologie – fonctionnement – des individus) détermine la régénération de l'écosystème (aspect fondamental de sa dynamique). De l'autre, le patron spatial des adultes détermine celui des plantules à travers le mode de dispersion et les conditions locales de germination (Grubb, 1977) ; ce qui maintient ou fait évoluer la structure (lien structure - dynamique). Quand une perturbation apparaît, le changement observé, pour ce qui est de la production primaire par exemple, est beaucoup plus influencé par les modifications de structure et de dynamique que par la réponse physiologique de croissance des individus (fonctionnement). Ainsi, en savane, un changement des stocks et flux de carbone dépend beaucoup plus de l'équilibre entre les herbes et les arbres (perturbation anthropique ou modification des traits démographiques) que d'une variation de l'assimilation photosynthétique. La stratégie de dispersion des graines (anémochorie, zoochorie, barochorie) est peu influencée par la physiologie, mais résulte d'une longue histoire évolutive et joue un rôle fondamental dans la colonisation d'un espace ouvert par une perturbation (formation d'une nouvelle structure) et donc dans le niveau attendu de productivité primaire.

La difficulté majeure en couplant ces processus majeurs qui créent les propriétés de l'écosystème vient de ce qu'ils appartiennent à trois différents champs (cf. supra) ; elle constitue un défi aux études écosystémiques pour au moins trois raisons :

L'échelle intrinsèque des processus : les processus fonctionnels et dynamiques sont souvent caractérisés par des échelles d'espace et de temps sans correspondance immédiate (ex. bilan hydrique établi sur un pas de temps égal ou inférieur au jour ; démographie simulée sur un an). Coupler de tels processus est un problème de transfert d'échelle. A l'heure actuelle, la seule façon de ne pas perdre d'information sensible est de travailler à des échelles de temps aussi fines que possible (Friend, 1993). La méthode est coûteuse en calcul et ne permet pas réellement de comprendre comment des processus se passant à différentes échelles interagissent. Le problème semble plus aigu encore pour le transfert d'échelles spatiales et il importe de développer de nouvelles approches théoriques et surtout des méthodes directes de mesure des processus concernés aux différentes échelles (local, paysage, région) : télédétection, scintillométrie, etc.

L'échelle d'observation : Prendre un écosystème pour un objet naturel impose des limites dans le niveau de détail (ou échelle de complexité) auquel les processus sont appréhendés. Comme le dit Levin (1992) « Pour changer d'échelle de la feuille à l'écosystème ..., nous devons apprendre comment agréger et simplifier, conservant l'information essentielle sans s'engluer dans des détails inutiles ». Le problème est aussi que le « détail inutile » pour une question donnée ne l'est plus pour une autre : il n'y pas une seule « bonne » échelle pour modéliser différents processus, indépendamment de la question qui a conduit à la construction du modèle.

Le changement d'approche : Mettre l'accent sur le couplage de divers processus plutôt que sur leur étude détaillée diverge de l'approche analytique traditionnelle pour une approche plus synthétique (Golley, 1998). L'approche « une hypothèse, une expérimentation » n'est pas à même de répondre à la question de l'association dans un cadre cohérent de divers objets suivant une logique différente. Peut-elle être remplacée par « une série d'hypothèse, une expérimentation complexe » ? La principale raison de la première approche tient à sa faisabilité ; il importe donc de développer des techniques autorisant la seconde.

Un outil pour l'approche écosystémique : des modèles de simulation spatialement explicites comme « écosystèmes virtuels »

Deux difficultés majeures se posent lorsque l'on essaie d'analyser les interactions entre structure, fonctionnement et dynamique dans les écosystèmes. D'abord, coupler divers processus suivant différentes règles requiert un énorme champ de compétences ; à ce moment, seuls les modèles de simulation permettent de synthétiser un tel ensemble de connaissances. Ensuite, les patrons spatiaux ne peuvent être modélisés sur des bases statistiques : différentes approches mathématiques peuvent générer le même patron (Rogers, 1974). La seule façon d'aborder les structures spatiales réside à l'heure actuelle sur des modèles individus centrés, spatialement explicites.

En opposition aux modèles mathématiques (systèmes d'équations solubles par des techniques mathématiques, mais rarement testés et testables sur des cas réels), les modèles de simulation peuvent coupler de nombreux processus, incorporer des connaissances théoriques, assimiler des données de terrain et représenter correctement des structures spatiales s'ils sont spatialement explicites. Ils apparaissent ainsi comme le meilleur outil de synthèse pour étudier les interactions structure-fonctionnement-dynamique. Les propriétés « écosystémiques » (stabilité, résilience, etc.) sont accessibles après l'analyse statistique des sorties de simulation. L'approche est comparable à celle utilisée pour les systèmes réels : définition d'un protocole expérimental et utilisation de techniques statistiques inférentielles pour atteindre une conclusion. En tant que tels, ces modèles de simulation sont utilisés comme des « écosystèmes

virtuels », c'est à dire comme des « modèles » (au sens propre du terme : imitation d'une réalité à une échelle accessible) d'écosystèmes réels. Ils possèdent des avantages spécifiques par rapport aux systèmes réels, donnant accès à des mesures impossibles à réaliser sur le terrain (valeurs significatives de la compétition, expérimentation à long terme, test de scénarii complexes d'hypothèses, etc.). Bien sur, cette approche requiert que l'écosystème virtuel soit une représentation assez bonne de sa contrepartie réelle : elle se fonde sur un effort considérable de recueil de données sur le terrain (calibration/validation). Un bon exemple de cette approche est donné par Pacala (1993). La force de cette approche tient à sa représentation de la réalité, meilleure que la plupart des autres approches. Sa limite tient beaucoup plus à la lourdeur des études de terrain qu'à l'effort de modélisation maintenant largement facilité par le développement de cadres génériques de simulation (Gignoux et al., 1997).

2. Objectifs et projets pour les prochaines années

D'une manière générale, mon objectif est de développer les recherches collaboratives entre écologistes et physiciens. Chaque groupe de discipline a jusqu'à présent abordé l'étude du fonctionnement des surfaces continentales de son côté, avec ses propres approches. Les progrès sectoriels à venir ne pourront réellement permettre de comprendre et de modéliser les processus en cause et à élaborer des scénarios réalistes d'évolution de ces surfaces sous les pressions anthropiques et climatiques. Les "simples" mécanismes de la production primaire des couverts, par exemple, ne peuvent être compris à cette échelle sans la prise en compte des transferts énergétiques, radiatifs et turbulents qui pèsent directement sur la photosynthèse et la transpiration. C'est également le cas du fonctionnement du sol (états hydriques et thermiques ; cycle de la matière organique) qui dépend largement des transferts énergétiques avec l'atmosphère.

Je souhaite par ailleurs m'impliquer fortement dans la recherche de valeurs biophysiques issues de capteurs satellitaires beaucoup plus proches des réalités biologiques. Les "modèles" de transfert entre mesures physiques (radiométrie optique ou micro-onde) et propriétés écologiques se fondent encore sur une approche assez grossière des processus biologiques par défaut de collaboration efficace entre les communautés concernées. La mixité disciplinaire du CESBIO est un atout pour progresser dans ce sens.

Enfin, je compte participer au développement de modèles spatialisés de fonctionnement des surfaces. L'extension spatiale des résultats de modèles "locaux" se fonde largement encore sur des hypothèses d'homogénéité des unités étudiées et d'additivité de leurs propriétés fonctionnelles (flux de carbone et d'eau). Je souhaite ainsi m'orienter vers l'analyse des propriétés de surfaces complexes (arrangement spatial des unités aux échelles du paysage/bassin versant et de la région). C'est une nouvelle étape dans le développement de la série de modèles dont je suis à l'origine sur les liens spatialisés entre structure, fonctionnement et dynamique des écosystèmes (Menaut et al. ; 1987, 1989, 1995, 1998).

3. Place de vos recherches dans l'Unité

Toutes les publications citées dans le rapport "menaut-pub" se placent dans le contexte de l'URA 258 et de l'équipe "Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes". Elles concernent soit le fonctionnement des savanes (projets Lamto et SALT), soit la conception de recherches nouvelles dans le cadre de programmes internationaux (PIGB - Changement global).

Je n'ai pas mené de recherches dans le cadre de l'ORSTOM/IRD, mais ai participé à la rédaction d'un certain nombre de publications sur des travaux conduits dans le cadre de l'URA 258.

La restructuration du CESBIO (plein temps) ne m'a guère laissé le temps d'effectuer de nouvelles recherches. J'ai toutefois largement basé de nouveaux axes de recherche du CESBIO sur la nature de mes travaux antérieurs (insistance sur les interactions plus que sur les compartiments ; relations entre structure, dynamique et fonctionnement dans les systèmes écologiques ; rôle de l'hétérogénéité spatiale et transfert d'échelles). Je compte ainsi m'impliquer sur le couplage entre un modèle 3D d'écosystème (MUSE) et un modèle également 3D de transfert radiatif et énergétique dans les

couverts végétaux, sur la conception d'une plateforme de modélisation multi points de vue et sur les mécanismes du transferts d'échelle. Je pilote par ailleurs la conception et la mise en oeuvre d'un démonstrateur régional de l'étude et de la gestion de l'environnement (association recherche*industrie*décideurs).

4. Mobilité dans les dernières années

- 1996 : URA 258
- 1997-1998 : Dept. RED, ORSTOM/IRD
- 1999- : CESBIO

Apports escomptés de ces mobilités :

Ces mobilités m'ont apporté une compétence nouvelle dans les domaines de l'administration et l'animation de la recherche. Elles m'ont surtout apporté une autre compréhension des approches à développer dans l'étude des écosystèmes continentaux.

Dans les deux dernières fonctions, il s'agissait de définir et de mettre en oeuvre en concertation avec les équipes et chercheurs concernés de nouveaux axes de recherches s'appuyant sur l'acquis. C'est sur une approche concrète du travail pluridisciplinaire que j'ai fait porté mes efforts. J'ai pu en mesurer les difficultés, mais aussi commencer à en voir les premiers fruits. Je crois ainsi être maintenant mieux à même de promouvoir des recherches intégrées sur le fonctionnement des surfaces continentales : dynamique des écosystèmes*biogéochimie*hydrologie*météorologie d'une part et transferts d'échelle du local au paysage et à la région d'autre part.

III- Production scientifique

Voir document : menaut-pub.rtf

- Revue à comité de lecture : 12
- Conférences invitées : 9
- Revue sans comité de lecture : 2
- Communication à des congrès : 3
- Séminaires (conférencier invité) : 6
- Chapitres dans les ouvrages : 16
- Livres et ouvrages : 4
- Autres : 2

IV- Autres activités

Activités d'encadrement, d'animation et d'administration de la recherche

Projets scientifiques

- jusqu'en 1997, animation du projet international du SCOPE " Tree-grass dynamics and consequences on soil organic matter budgets "

Responsabilités de direction d'équipes et d'administration de la recherche

- 1996 : Direction de l'URA 258 (ENS, UPMC, CNRS)
- 1997 - 1998 : Direction du Département " Ressources, Environnement, Développement " de l'ORSTOM (2/3 du personnel de recherche de l'organisme)
- 1999 - 2000 : Direction du CESBIO (UPS, CNRS, CNES)
-

Activités d'enseignement en 1996-1997-1998 et de diffusion

Encadrement de thèses

- S. Barot. 1999. Structure spatiale, hétérogénéité des ressources et dynamique de population de palmiers. UPMC Ecologie, 50%.
- M. Ehrman. 1999. Fonctionnement hydrique de la brousse tigrée. UPMC, Biosphère, 30%.

Participation à l'enseignement

Magistère de Biologie (Ecole Normale Supérieure), 2° cycle, module Environnement (fin : 1997)
 DEA "Ecologie générale" (Univ. Paris VI et XI): modélisation des liens fonctionnement-structure-dynamique des écosystèmes (fin : 1997)
 DEA "Fonctionnement physique, chimique et biologique de la biosphère continentale" (INAPG, Univ. Paris VI, ENS), responsable "Biosphère" (fin : 1997)
 DEA "Pollution atmosphérique et physique de l'environnement" (Univ. Paris VII & XII): émissions biogéniques (fin : 2000)

Organisation de conférences et ateliers

- 1996, 1997 : ENS, Paris. Ateliers d'avancement du projet SCOPE "Tree-grass dynamics". Constitution de la base de données internationales et test des modèles (participants de France, Grande-Bretagne, Etats-Unis, Australie, Nouvelle-Zélande).
- 1998 : Strasbourg. Atelier national sur le fonctionnement hydro-écologique des paysages (45 participants).

Diffusion de la recherche

Aux activités de publication, de consultance, d'édition scientifique et d'enseignement qui participent à la diffusion de la recherche s'ajoutent des activités plus spécifiques. Elles consistent en la publication d'articles de vulgarisation dans des revues touchant un large public comme La Recherche, Sécheresse ou Nature, Science et Société et dans des ouvrages publiés en France par le CNES et l'INRA, à l'étranger par l'ICSU (IUBS et IGBP). Participent également de la promotion de la recherche l'organisation d'ateliers et de conférences nationales et internationales, dont certaines ont donné lieu à des interviews par les médias locaux (Darwin, savanes; Caracas, feu; Berlin, émissions biogéniques de gaz à effet de serre; Canberra, dynamique des écosystèmes et changements globaux). J'ai enfin participé à des émissions radiophoniques (le projet Biosphère II, radio Suisse romande) et télévisuelles (Désertification, magazine Gaïa - ARTE/La Sept).

Activités de valorisation

En tant que directeur du CESBIO, j'ai été amené à négocier en concertation avec les services ad hoc des tutelles des contrats (nature, propriété intellectuelle, montants) avec des PME et des groupes industriels :

- source CNES ; destinataire NOVELTIS ; algorithmie, traitement de données spatiales ; développement, utilisation et commercialisation de modèles de transfert radiatif ; brevet en cours de dépôt.
- source MATRA ; traitement d'images satellitaires
- source ALCATEL ; développement de modèles Radar (humidité de surface et structure des couverts)