

A C T E S D E
C O L L O Q U E

Paris, 12-13 décembre 1994

Cemagref INRA

Agriculteurs, agricultures et forêts

Cemagref
EDITIONS

Agriculteurs, agricultures et forêts

Actes du colloque
Paris - 12 et 13 décembre 1994

Dans la même collection aux éditions du Cemagref (prix TTC)

- Recherche et société, 10 ans d'expérience du Cemagref, oct. 1991, Paris, ISBN 2-85362-256-8, 1991, 204 p. - 200 F

Équipements agricoles et alimentaires

- Equipements en production végétale et réduction des pollutions, 1994, ISBN 2-85362-405-6, 1995, 96 p. - 150 F
- Plastiques et environnement, 1994, ISBN 2-85362-396-4, 52 p. - 100 F
- Maîtrise et prévention des pollutions dues aux élevages, *SIMA 94*, Paris, ISBN 2-85362-349-1, 148 p. - 200 F
- La conduite autonome des engins agricoles, *SIMA 92*, Paris, ISBN 2-85362-266-5, 1993, 152 p. - 200 F
- L'application de l'analyse d'images dans l'agro-industrie. De la production à la transformation des produits agricoles, 28 sept. 1994, Montpellier, ISBN 2-85362-372-6, 144 p. - 180 F
- Use of on-machine vision systems for the agricultural and bio-industries. Systèmes de vision embarqués pour l'agriculture et l'industrie agro-alimentaire, sept. 1991, Montpellier, ISBN 2-85362-279-7, 1992, 176 p. - 200 F
- Du concept de BVRE à celui de zone atelier dans les recherches menées en eaux continentales, 1994, Paris, ISBN 2-85362-400-5, 228 p. - 200 F

Équipement pour l'eau et l'environnement

- Proceedings of the "Pierre Beghin" international workshop on rapid gravitational mass movements. Actes de l'atelier international "Pierre Beghin" sur les mouvements gravitaires rapides, 1993, ISBN 2-85362-411-0, 1995, 356 p. - 280 F.
- Workshop on subsurface drainage simulation models. Atelier sur les modèles de simulation du drainage, 4-5 sept. 1993, La Haye, ISBN 2-85362-338-6, 1993, 338 p. - 150 F
- Drainage agricole, fév. 1990, Le Caire, ISBN 2-85362-220-7, 1991, 340 p. - 220 F

Gestion des milieux aquatiques

- ACIPENSER, colloque international sur l'esturgeon, oct. 1989, Bordeaux, ISBN 2-85362-208-8, 1991, 520 p. - 350 F
- Measures for success. Metrology and instrumentation in aquaculture management. Mesures pour le succès. Métrologie et instrumentation appliquées à la gestion en aquaculture, *Aquaculture Bordeaux 94*, ISBN 2-85362-373-4, 328 p. - 275 F
- Atelier international sur les bases biologiques de l'aquaculture des siluriformes. International workshop on the biological bases for aquaculture of siluriformes, 1994, Montpellier, ISBN 2-85362-365-3, 194 p. - 150 F
- Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées, 21 oct. 1994, Lyon, ISBN 2-85362-381-5, 82 p. - 200 F
- Congrès international sur le traitement des effluents vinicoles. International specialized conference on winery wastewaters, 20 - 24 juin 1994, Narbonne / Epemay, ISBN 2-85362-366-1, 296 p. - 200 F

Gestion des territoires

- Quelle mécanisation pour la forêt de demain ?, *SIMA 93*, Paris, ISBN 2-85362-324-6, 1993, 192 p. - 200 F
- Ressources naturelles et développement montagnard, *SAM 92*, Grenoble, ISBN 2-85362-310-6, 1993, 154 p. - 200 F
- Montagne = Qualité ?, *SAM 92*, Grenoble, ISBN 2-85362-332-7, 1993, 68 p. - 150 F
- Territoires ruraux et développement. Quel rôle pour la recherche, 28 avril 1994, Paris, ISBN 2-85362-367-X, 246 p. - 170 F
- Thermal remote sensing of the energy and water balance over vegetation in conjunction with other sensors. Télédétection infrarouge thermique des échanges énergétiques et hydriques de la végétation en combinaison avec d'autres capteurs, sept. 1993, La Londe Les Maures, ISBN 2-85362-371-8, 330 p. - 275 F

Actes du colloque **Agriculteurs, agricultures et forêts**. 12-13 décembre 1994. Coordination de l'édition : F. Cailliez - Suivi d'édition : V. Goulette - Maquette de couverture : F. Cédra.

Impression et façonnage : imprimerie Louis Jean, 05003 Gap - Diffusion : Cemagref-Dicova, BP 22, 92162 Antony Cedex - Diffusion aux libraires : TEC et DOC Lavoisier, 19 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex (c) Cemagref, ISBN 2-85362-414-5, dépôt légal : 2^e trimestre 1995 - Prix : 190 F

Colloque

Agriculteurs, agricultures et forêts

Paris, 12 et 13 décembre 1994

Coordination scientifique :

Francis Cailliez

Chef adjoint du département des Recherches forestières
INRA Paris

Jean Cavailhes

Chef du département Economie et sociologie rurale
INRA Dijon

Bernard Hubert

Chef du département Systèmes agraires et développement
INRA Avignon

François-Xavier de Montard

Département Agronomie
INRA Clermont-Ferrand

Jean-Luc Guitton

Chef de la division Techniques forestières
Cemagref Clermont-Ferrand

Daniel Terrasson

Chef du département Gestion des territoires
Cemagref Antony

Sommaire

Introduction	7
--------------------	---

Première partie

Contexte social et économique

Processus historique de dissociation de l'agriculture et de la forêt <i>O. Nougarede</i>	11
Relations actuelles agriculture-forêt en France : bilan statistique et socio-économique <i>D. Normandin</i>	19

Deuxième partie

Problèmes et questions de recherche

Systemes écologiques – Biodiversité

Biodiversité et forêt paysanne : de la théorie à la pratique <i>G. Balent, M. Deconchat</i>	37
Boisements spontanés feuillus en montagne : dynamique et gestion <i>J.-J. Brun</i>	49

Externalités et forêt

Utilités de la forêt autres que la production de matière première : problématique économique <i>D. Normandin</i>	59
Peuplier, agriculture et paysages <i>S. Le Floch</i>	73

Systemes hydrauliques et systemes agraires

Développement du boisement dans un système agraire soumis à des contraintes de qualité de l'eau souterraine <i>J.-P. Deffontaines</i>	83
---	----

Structures linéaires boisées : environnement physique et agronomique, méthodes et perspectives d'étude des transferts <i>P. Merot, S. Reyne, J. Baudry</i>	89
Conception de zone de filtration des eaux effluentes de parcelles agricoles : approche bibliographique <i>G. Balent, M. Deconchat</i>	119

Sylvicultures

Relations entre gestion et structure dans les systèmes boisés d'exploitations agricoles <i>A. Cabanettes, J.-P. Guyon</i>	133
Culture d'arbres à bois précieux <i>J.-L. Guitton</i>	141
Conduite de l'herbe et des cultures en association avec des arbres forestiers <i>F.-X. de Montard</i>	151

Troisième partie

Outils et modèles

Fonctionnement écophysiological des arbres en association <i>F. Bussière, H. Sinoquet, P. Cruz, H. Ozier-Lafontaine, R. Tournebize</i>	163
Quelques résultats d'économie relatifs à la gestion de la forêt paysanne : définition de trois pistes de recherche <i>J.-P. Terreaux</i>	181
Téledétection et approches spatialisées appliquées à la forêt <i>G. Lechapt</i>	195
Modélisation de systèmes agroforestiers <i>M. Etienne, D. Auclair</i>	203



Introduction

Ce recueil de textes présente les communications qui ont été faites au séminaire "Agriculteurs, agricultures et forêts" du 13 décembre 1994, organisé conjointement par l'INRA et le *Cemagref* à Paris. Il s'agit pour les organisateurs de rendre accessible cet ensemble d'exposés aux participants du séminaire, dans l'état où les auteurs les ont transmis, afin de garder la mémoire des réflexions présentées au cours de ces deux journées, qui marquent une étape dans le processus d'élaboration d'un programme de recherche à l'initiative de l'INRA et du *Cemagref*.

En effet, l'INRA a engagé depuis trois ans une réflexion sur les questions de recherche soulevées par la forêt paysanne et l'agroforesterie. Du côté du *Cemagref*, un programme agroforestier existe depuis 1988, et plus récemment une réflexion globale a été conduite à l'occasion de la création du département "Gestion des territoires". La forêt paysanne, ayant fait jusqu'à présent l'objet de peu d'attention de la part de la recherche publique, mérite un nouveau regard dans le contexte des nouvelles orientations de politique agricole, qui accordent une place importante à la diversification des activités des exploitants agricoles. L'agroforesterie est souvent perçue comme une alternative au reboisement exclusif des terres agricoles, qui est l'objet de mesures incitatives dans le cadre de la nouvelle politique agricole communautaire ; elle bénéficie d'une image attrayante du fait de son relatif développement dans de nombreux pays tropicaux, voire dans quelques pays tempérés comme la Nouvelle Zélande ou la Chine, dans des conditions économiques, sociales, culturelles et foncières souvent bien différentes de celles rencontrées dans la plupart des régions françaises.

Il nous a paru indispensable de commencer toute activité de programmation de recherches dans ce domaine par une identification et une connaissance du champ de recherche concerné, de façon à s'assurer de la pertinence et de l'étendue des problèmes posés par le développement ou l'introduction d'activités forestières dans des exploitations agricoles, et leurs effets sur l'organisation du travail, l'affectation des terres et du capital et l'intégration à des filières de commercialisation ; il s'agit également d'en apprécier les conséquences sur des niveaux d'organisation englobants, comme l'espace rural local, en termes de paysages, de biodiversité ou de circulation des eaux. Quelles sont effectivement les questions de recherche pertinentes derrière ces problèmes, comment identifier celles qui sont prioritaires et qui correspondent à nos compétences ou à celles des partenaires que nous pouvons mobiliser ? C'est pour contribuer à ces réflexions qu'une première incitation financière, modeste, a permis à des chercheurs de l'INRA de réaliser des revues bibliographiques ou d'engager des travaux préliminaires, dont ils rendent compte ici. Il s'agit bien de construire un programme de recherche, en collaboration entre le *Cemagref* et l'INRA, faisant l'objet d'une Action incitative programmée, dès 1995 ; c'est pourquoi, nous avons également demandé à nos collègues du *Cemagref* de venir nous faire part de leur expérience et de leurs intentions dans cette voie.

Le Comité d'organisation

*F. Cailliez, J. Cavailhès, B. Hubert,
F.-X. de Montard, D. Terrasson*

Première partie

**Contexte social
et économique**

Processus historique de dissociation de l'agriculture et de la forêt

Olivier Nougarede

INRA – Station d'Économie et de sociologie rurales
63-65 bd. de Brandebourg – 94205 Ivry Cedex
Tél. (1) 49 59 69 00 – Fax (1) 46 70 41 13

Fondées sur l'articulation de la culture et de l'élevage, les civilisations rurales européennes se sont développées au détriment des forêts. Les relations entre l'agriculture et la forêt se sont mises alors à dépendre des oscillations de la démographie. Sous l'Ancien Régime, l'existence de droits d'usage permettait d'associer les espaces boisés à l'économie rurale, notamment pour la production de l'indispensable fumure. Les droits d'essartage, d'affouage, de bois mort et de mort-bois, de marronnage, de pâturage et de cueillette inséraient, non sans conflits, les forêts dans les systèmes agraires. Finages et bois formaient ainsi deux mondes séparés, mais étroitement imbriqués.

Du XIX^e siècle à nos jours, s'est opéré un long processus de dissociation de la forêt et de l'agriculture. Pour permettre l'essor économique et industriel, il fallait à la fois favoriser le développement d'une agriculture marchande intensive, et créer à long terme des ressources ligneuses. Il a donc été nécessaire de réaliser la première, puis la deuxième "révolution agricole", de limiter les droits d'usage en forêt, et de donner d'autres objectifs de production à la sylviculture. Subséquemment, en un siècle et demi, les administrations, les savoir, les législations, les activités, et les espaces agricoles et forestiers ont été progressivement séparés. Mais aujourd'hui, cette dissociation semble être remise en cause.

La séparation administrative, scientifique et juridique

A la veille de la Révolution, les forêts sont dans une situation au moins aussi mauvaise qu'elles n'étaient avant l'Ordonnance de Colbert. Le Contrôleur Général des Finances, Calonne, déclare que *"la plupart des forêts du Roi sont dans un état de dégradation manifeste"*, et que *"l'amour de Sa Majesté pour ses peuples influe dans les changements qu'elle veut faire à l'administration des forêts"*.

Mais c'est déjà trop tard. Dès l'été 1789, les paysans se ruent en forêt, parfois même sous forme d'attroupements armés. C'est une revanche contre toutes les brimades et les spoliations perpétrées auparavant par les nobles et l'administration. Le changement de régime, le départ des émigrés, l'expropriation du clergé, et la désagrégation des Maîtrises font que tout devient possible: vols de bois, défrichements abusifs, appropriations sauvages, introductions de chèvres, etc.

Alors, la surexploitation chronique des forêts s'aggrave. Les ruraux, par esprit de revanche et par nécessité, font des prélèvements immodérés, facilités par la négligence des gardes et tolérés par la compréhension des autorités locales. De plus, en cette période de guerre, les marchands de bois et les *"bandes noires"* suscitent des abattis spéculatifs pour satisfaire les besoins en bois croissants des industriels, des militaires, et des villes.

Dans ce contexte de désorganisation administrative, les peuplements souffrent car l'affirmation du droit de propriété individuelle permet aux détenteurs de forêts d'en user et d'en abuser comme ils l'entendent. Cependant, même si localement des prélèvements excessifs sont commis, si le partage et le défrichement partiel des communaux augmentent la pression du bétail dans les sous-bois, si certains acquéreurs de biens nationaux les coupent à blanc avant de le défricher, la surface forestière ne diminue guère: on l'estime, en 1823 comme en 1789, à environ 8.100.000 hectares.

Par contre, le statut juridique des forêts change par la nationalisation des terres royales, la confiscation des bois du clergé et des émigrés vendus comme biens nationaux, et la création des propriétés communales. De même les écrits législatifs sur la forêt pullulent: après l'abolition progressive de l'Ordonnance et des Maîtrises, un projet de code forestier est présenté en 1799; les droits d'usage deviennent des "*servitudes usagères*" dont quiconque peut se libérer; les infractions forestières cessent d'être des délits de droits pour devenir des délits de biens assimilés aux vols, et sont donc plus sévèrement réprimées. Une Conservation Générale des Forêts est mise en place en 1801.

Cette période voit ainsi la poursuite, sous d'autres formes, de l'éternel conflit entre usagers et propriétaires et révèle l'importance des bois dans l'équilibre des systèmes agraires. Mais, c'est aussi celle où s'élaborent les schèmes idéologiques et les modèles techniques ou administratifs qui vont être mis en oeuvre au XIX^e siècle.

A partir de 1822, une commission élabore une nouvelle législation. Le Code Forestier, promulgué le 31 Mai 1827, doit permettre à l'État de "*reconstituer et de protéger le patrimoine forestier national*". Il entérine une conception de la propriété, héritée de la Révolution, qui est très défavorable aux ruraux: seules les servitudes usagères justifiées par des titres sont reconnues, et des procédures juridiques sont élaborées pour pouvoir s'en libérer aisément. Pour tenir compte des services indirects rendus par la sylviculture, des mesures sont prises pour limiter les défrichements en forêt privée; les forêts royales doivent être aménagées "*dans l'intérêt des produits en matière et de l'éducation des futaies*"; les bois communaux et sectionnaux "*reconnus susceptibles d'aménagement ou d'exploitation régulière*" doivent être soumis au régime forestier, leur gestion étant confiée à l'administration. Les collectivités rurales n'ont ainsi plus que la propriété formelle de leurs propres bois, où le pâturage est interdit.

Mais, si l'Administration Forestière se situe dans la continuité nostalgique des Maîtrises, elle est aussi devenue moderne et savante. Ses cadres ne sont plus des officiers ayant hérité d'une charge ou l'ayant acquise, mais des ingénieurs formés dans la nouvelle école de Nancy créée en 1824. Des savants formés outre-Rhin, comme Baudrillart et Lorentz, puis Parade, sont à l'origine d'une sylviculture nouvelle. Rejetant la méthode allemande de régénération par coupe rase et plantation, ils prônent la futaie régulière avec régénération naturelle, adjoignant aux coupes d'amélioration des éclaircies pour dégager les arbres porte-graines et laisser aux jeunes semis suffisamment d'espace et de lumière; de plus, ils encouragent la conversion des taillis et taillis-sous-futaie en futaies. Enseignée à Nancy, cette "science" est présentée comme la seule gestion rationnelle des peuplements: elle devient la sylviculture officielle qui s'oppose aux traitements traditionnels "barbares".

L'État s'est ainsi doté d'un corps de spécialistes, ayant toujours en vue l'intérêt général, apte à penser au long terme, et armé d'un incontestable savoir, qui, seul, peut se charger de tirer parti du patrimoine forestier sans en compromettre l'avenir. Mais, ce développement autonome de la science forestière amène à concevoir la sylviculture indépendamment de la mise en valeur agricole et des pratiques paysannes. De plus, comme l'existence d'un droit forestier spécifique crée une séparation juridique entre la forêt et le reste de l'espace rural, le Code Forestier va initier une longue offensive contre les ruraux et leurs activités.

La dissociation spatiale des activités agricoles et forestières

Dans un monde rural "gorgé d'hommes", l'État, avec sa législation et son administration toutes neuves, entreprend une action systématique et autoritaire: il veut cantonner les droits existant sur les forêts domaniales, limiter les empiétements des riverains, contrôler les affouages, évincer les troupeaux des sous-bois, et imposer aux forêts soumises les traitements de la sylviculture officielle. Convaincus d'avoir le droit et la science avec eux, les agents de terrain sont chargés d'imposer cette "saine gestion" des massifs, en ayant sous leurs ordres des préposés chargés de "surveiller et punir". L'application du code forestier provoque alors un déluge de procès-verbaux, réprimant les délits, et une avalanche de brimades, entretenant longtemps un climat social agité.

Dans les campagnes où le pastoralisme reste longtemps vital, comme en montagne, la contestation des soumissions est forte: de la pétition, on passe rapidement à la manifestation, puis aux voies de fait contre les gardes et même aux incendies et aux assassinats. Lors des vacances temporaires du pouvoir, comme en 1830 et en 1848-1852, les pratiques usagères renaissent de plus belle, parfois imposées par les armes. Des troubles agitent ainsi plusieurs départements du Massif Central ou des Alpes, mais aussi des régions de plaine comme l'Orléanais, la Meuse ou l'Yonne. En Ariège, la "Guerre des Demoiselles" est même une véritable insurrection populaire.

Mais l'État a pour devoir de maintenir la paix sociale, d'arbitrer les conflits, de ménager les intérêts. Aussi, lors des changements de régime, l'administration est plus ou moins contrainte de lâcher du lest: "*des terrains boisés ou non, nécessaires à l'exercice du pâturage*" sont distraits du régime forestier en 1849 comme en 1853. A cette date, l'État dénonce même l'excès de zèle des forestiers; le Directeur général des forêts déclare: "*Des rapports parvenus au Ministère des Finances représentent les populations des pays de montagnes, comme étant réduites à un état de souffrance et de misère excessive par les prescriptions rigoureuses du Code. Considérant comme impératifs les termes de l'article 90, selon lequel on doit classer, non seulement les bois susceptibles d'aménagement, mais encore les parcours qui peuvent être convertis en bois et aménagés, on aurait donné au régime conservateur une extension trop grande*". Et, pour "*donner satisfaction aux besoins locaux tout en maintenant l'autorité du Code, sur tous les points où l'application en sera profitable*", des terrains sont distraits du régime forestier dans plusieurs départements du Midi et de l'Est. Ces distractions se poursuivront un peu partout pendant la première moitié du Second Empire.

Face à la résistance populaire, l'administration est donc contrainte de rechercher des compromis. Et ce, d'autant plus que les aliénations contemporaines de forêts royales, pour des raisons budgétaires, paraissent contradictoires à la volonté de soumettre les bois communaux pour les soustraire à "*l'incurie des particuliers*". Aussi, le pâturage est souvent toléré dans les forêts défensables et les aménagements tiennent progressivement compte des contraintes du milieu naturel et social, et non plus seulement du dogme forestier. Finalement, bon nombre de communautés rurales réussissent à imposer le maintien de certaines de leurs pratiques forestières et acceptent alors la soumission de leur patrimoine boisé.

Cette période correspond à une offensive généralisée contre les systèmes agro-pastoraux. Partout où une majorité de propriétaires le demandent, les biens communaux sont aliénés. Ainsi, en Gironde et dans les Landes, les concessions puis les ventes de landes communales se multiplient; le prix de la résine augmentant, ces terrains privatisés sont reboisés. D'autre part, de 1850 à 1875, des terres vaines non boisées appartenant à l'État autour de forêts domaniales, les "*vagues*", sur lesquelles les riverains possèdent des droits, sont aliénées, après suppression des servitudes, à la grande déception des usagers.

Après cette "guerre" contre les droits d'usage, le Second Empire lance une véritable offensive de reboisement. Au nom du discours sur les bienfaits de la forêt et les méfaits du déboisement, l'État charge ses ingénieurs de maîtriser l'eau par la forêt, en favorisant le reboisement de terrains pastoraux, en plaine et en montagne.

Après des initiatives personnelles de Napoléon III qui crée des domaines impériaux modèles, le corps des Ponts et chaussées est chargé, en 1857, d'assainir les landes humides de Gascogne et de Sologne. Après drainage, les communes sont invitées, pour se procurer des finances, à privatiser leurs biens collectifs que les nouveaux propriétaires sèment en pins. De plus, la stérile Champagne pouilleuse est couverte de camps militaires et surtout de pinèdes qui doivent attirer les pluies. Ces opérations aboutirent à la création de près de 2.000.000 d'hectares de peuplements résineux aux dépens de terrains pastoraux. Dans les Landes, les exclus de ce processus sont alors tenus pour responsables des incendies qui ravagent le nouveau massif au début des années 1870.

En 1860, l'administration des Eaux et Forêts est chargée de reboiser les montagnes et de mettre fin au surpâturage afin de protéger les plaines contre les inondations, les vallées contre les crues torrentielles, et les pentes contre l'érosion. Les propriétaires reçoivent des subventions pour reboiser: s'ils refusent, ils sont expropriés. L'État soumet et reboise à ses frais des communaux, avant de les gérer jusqu'à la récupération des fonds engagés. L'instauration de près de 1.200.000 hectares de périmètres de reboisement (obligatoires ou facultatifs) provoque de nouvelles levées de fourches, car ce sont les principales ressources fourragères estivales des montagnards qui sont visées. La guerre entre forestiers "éclairés" et ruraux "routiniers" reprend donc lorsque les forestiers sortent des bois pour s'attaquer aux pâturages. Aussi, très vite, l'administration doit modérer ses ambitions. Une loi complémentaire de 1864 permet de substituer dans certains cas l'engazonnement des pentes à leur reboisement. Mais, toutes ces mesures sont aussi impopulaires que peu efficaces: en 1870, seule une vingtaine de milliers d'hectares est reboisée.

Sous la Troisième République, les méthodes coercitives des forestiers entrent en contradiction avec les intérêts de gouvernements soumis à la sanction du suffrage universel. En 1882, une nouvelle loi sur la Restauration des Terrains de Montagne limite le reboisement aux terrains où "*les dangers sont nés et actuels*" : l'action est circonscrite aux bassins versants des torrents, aux terrains en mouvement et, accessoirement, aux couloirs d'avalanches. Avec la "mise en défens" des parcours et le génie civil, le reboisement n'est plus qu'un moyen d'enrayer ces menaces, non une fin en soi. Chaque périmètre ne peut être créé qu'après le vote d'une loi: pour reboiser sans mécontenter les ruraux, le dogmatisme doit laisser place à la diplomatie, la "langue de bois" à la persuasion des notables, la contrainte à l'incitation vis à vis des propriétaires. Finalement les transformations de l'agriculture permettront progressivement aux forestiers d'outrepasser la loi, reboisant en son nom tous les terrains qu'ils ont l'opportunité d'acheter quand leur budget le leur permet. A des reboisements réellement conçus pour protéger les personnes et les biens contre les catastrophes naturelles, s'ajoutent de nombreuses plantations ayant des objectifs économiques: des reboisements de substitution sont ainsi rendus possibles par la crise de la grande propriété absentéiste et le déclin des systèmes agro-pastoraux.

En 1913, une nouvelle loi ne se contente plus d'interventions ponctuelles curatives et prescrit une protection préventive visant la régularisation du régime des eaux. Paradoxalement, ce retour de la possibilité de contraindre, que réclament les forestiers depuis trente ans, est alors inutile. La crise des systèmes agraires traditionnels a fait cesser le surpâturage, et libère des terres. Le reboisement n'est plus qu'un problème technique et budgétaire. En 1925, 178.000 ha ont été reboisés dans des périmètres, mais ce n'est que 15% de l'objectif fixé en 1860!

Bien que certains forestiers, comme Calvet, Briot, Fabre, etc., estimant qu'il fallait à la fois restaurer les montagnes et maintenir leur population, recherchaient un équilibre idéal entre surfaces forestières, agricoles, et pastorales, les forêts, ayant reçu pour fonction le maintien des

équilibres naturels, ont été séparées de leur environnement agricole. L'État s'estimant seul capable de concilier les pratiques individuelles avec l'intérêt général, tout s'est passé comme si la sylviculture était une activité trop importante pour être confiée aux paysans. Cette période est à l'origine des "clichés" sur l'inéluctable concurrence entre l'agriculture et la forêt et sur l'antagonisme atavique entre les agriculteurs et les forestiers. Ces derniers vont longtemps estimer que les paysans sont des dendroclastes invétérés; et pour beaucoup de ceux-ci, toute forêt symbolise une dépossession du territoire, tout reboisement provoque le déclin de l'agriculture, tout forestier est un agrophage.

Ou l'économie favorise aussi la dissociation

Durant la première moitié du XIX^e siècle, le développement industriel et urbain était fondé essentiellement sur l'utilisation du bois comme combustible. Son prix augmentait alors deux fois plus vite que celui des autres matières premières. Cette mobilisation croissante des produits forestiers pour le marché induisit l'exacerbation des contestations entre propriétaires et usagers.

Progressivement, avec le développement du rail, le charbon de terre se substitue au bois de feu et au charbon de bois. Si d'autres utilisations anciennes des ressources ligneuses (bois de marine remplacé par l'acier) sont aussi en déclin, il y a par contre une demande croissante de certains produits traditionnels (bois d'œuvre et de menuiserie) ou nouveaux (traverses de chemin de fer, poteaux, étais de mines, résine, etc.). Cette mutation des débouchés de la forêt nécessite une transformation radicale de la gestion des peuplements et l'introduction d'essences nouvelles. A la place des anciens traitements il faut pratiquer une sylviculture fournissant au marché les produits dont la demande est en progression; le bois de chauffage et le charbon de bois n'étant plus que des sous-produits, la conversion des taillis en futaies se généralise. Désormais, il n'y a plus seulement concurrence entre droits d'usage et besoins des manufactures, il y a aussi incompatibilité entre les pratiques sylvicoles que supposent ces droits et celles qu'exige la mise en valeur industrielle des forêts.

Ainsi, le marché des produits forestiers contribue aussi à chasser les paysans des bois.

A des dates et selon des rythmes et des formes différents, l'insertion de la paysannerie dans l'économie marchande induit aussi de nouveaux rapports entre l'agriculture et la forêt. L'amélioration des routes et le chemin de fer créent, dès le Second Empire, les conditions d'un marché agricole national: la nécessité de produire du grain partout est progressivement révolue, quoique dans les régions pauvres encore surpeuplées, la première révolution agricole se fasse longtemps attendre. Sous la Troisième République se mettent en place de nouveaux modes de mise en valeur: beaucoup d'agriculteurs adoptent des systèmes de polyculture-élevage intensifs qui augmentent les rendements sans compromettre les ressources forestières, tandis que les paysans pauvres, qui sollicitaient le plus les forêts, laissent émigrer leurs enfants avant de disparaître eux-mêmes. Après la période conflictuelle, l'administration forestière peut alors aider les propriétaires à se libérer des droits d'usage, en "épurer" forêts domaniales et soumises, adapter la gestion des peuplements aux orientations nouvelles du marché, et parfois même reboiser des landes, sans avoir à heurter de front les intérêts des ruraux. Certes dans de médiocres forêts non soumises, les pratiques anciennes perdurent encore; l'affouage et le pâturage se maintiennent sous contrôle administratif dans quelques forêts soumises; mais les forestiers tolèrent ces "survivances" en pensant qu'elles s'éteindront d'elles-mêmes.

Rattachée au Ministère de l'Agriculture, l'administration forestière, tout en restant "gendarme" et répressive, est aussi devenue technique et gestionnaire en expérimentant des méthodes de

reboisement, en aidant les paysans à intensifier et orienter vers le marché leurs systèmes de production, en inscrivant son action dans une perspective d'"aménagement" de l'ensemble du territoire rural.

L'agriculture n'ayant plus besoin des bois, la forêt s'est progressivement émancipée de la paysannerie, plus par consentement économique mutuel que par contrainte administrative

La forêt dévore l'espace agricole

Lorsque les conflits s'estompent à partir de la fin du XIX^e siècle, les surfaces boisées s'étendent. En bien des lieux, l'affouage est abandonné, les troupeaux sortent des sous-bois et le déclin du pastoralisme induit une progression des accrus boisés sur un saltus délaissé. La forêt se déploie dans les lacunes d'une mise en valeur agricole qui s'est détournée des bois: elle comble les vides laissés par les systèmes de production intensifs. Mais là où il n'y a ni espaces à grignoter, ni trous à boucher, la forêt ne progresse guère.

Durant Entre-deux Guerres, l'administration se préoccupe de l'augmentation chronique du prix du bois due à sa pénurie. Le développement de la fabrication du papier, par trituration de rondins de bois résineux, induit une demande nouvelle que la forêt française parvient mal à satisfaire. En 1920, elle considère que *"ce n'est plus seulement du point de vue de la protection des sols qu'il convient d'envisager (la forêt), mais encore et de plus, du point de vue de l'économie nationale"*. Mais, certains forestiers autour de Roger Ducamp, estiment qu'il ne faut *"reboiser qu'avec circonspection"*: *"vouloir de la forêt partout, et en particulier, là où il est possible d'avoir de beaux domaines pastoraux serait folie et serait coupable"*. Avec l'agronome Kuhnoltz-lordat, ils prônent la difficile recherche d'équilibres agrosylvopastoraux. Néanmoins, une politique incitative cherche alors à rendre le reboisement attrayant pour les particuliers: des subventions sont offertes, et dès 1934 les reboisements sont exonérés d'impôts fonciers pendant 30 ans. Comme la France ne produit qu'un quart du bois de pâte à papier qu'elle consomme, un "plan papetier" programme en 1939 les reboisements de production pouvant être réalisés dans les régions où l'agriculture libère des terres.

Finalement la loi du 30 septembre 1946 crée le Fonds Forestier National (F.F.N.). Ce compte spécial du Trésor, alimenté par une taxe parafiscale sur les produits d'exploitation forestière et de sciage, a pour but *"de financer toutes opérations susceptibles d'accroître les ressources forestières du pays ou encore de favoriser l'écoulement des produits forestiers"*. Depuis lors, pour reboiser un terrain, on peut obtenir des subventions, des prêts en numéraires, des contrats de travaux, et par la suite des primes. L'État mobilise ainsi les propriétaires fonciers pour gagner la bataille économique du bois.

Stimulée par l'action du F.F.N. et de ses agents, la forêt poursuit ainsi son emprise sur le territoire de certaines régions marginalisées par l'inégal développement de l'agriculture. Sur les exploitations paysannes, le "terrain perdu" est reboisé à l'aide de subventions quand il n'est pas investi par des peuplements spontanés. Mais cette reforestation agricole est relayée, surtout à partir des années 60, par une emprise forestière qui échappe au contrôle des paysans et des résidants. Dans les régions pauvres où bien des terres libérées par des exploitants sans successeurs n'ont pas trouvé preneur et se sont couvertes d'accrus, les paysans ont abandonné facilement à leurs cohéritiers les parcelles devenues inutilisables par l'agriculture moderne. Se croyant en mesure de gérer leurs biens "à distance", ces nouveaux citadins les reboisent, espérant éviter ainsi l'abandon pur et simple du patrimoine et du pays auxquels ils sont attachés. Ils le font d'autant plus aisément que le F.F.N. les incite maintenant à planter de plus grandes surfaces. Après avoir dispensé généreusement des subventions créant des "timbres-poste" forestiers, celui-ci adopte, vers le milieu des années soixante, une politique d'aide

financière sélective, visant à créer des "reboisements structurés", adaptés aux conditions modernes d'approvisionnement des industries du bois. Ainsi il suggère aux émigrés de "reboiser" tout leur patrimoine, et non plus seulement les parcelles dont personne ne veut. De fait, il incite aussi des investisseurs étrangers aux sociétés paysannes, notables ou spéculateurs divers, à se constituer acquéreurs de foncier: ces nouveaux propriétaires mobilisent alors au profit de la forêt des espaces potentiellement utiles à l'agriculture. Une concurrence se développe, non point entre l'agriculture et la forêt, mais entre des agriculteurs, plus assez nombreux et n'accumulant pas assez de capital pour maîtriser l'ensemble du territoire, et des propriétaires non résidents qui prennent cet espace en charge en fonction d'objectifs économiques ou de pratiques sociales (disposer d'un terrain de chasse par exemple), sans rapport avec les objectifs et les pratiques de la population locale.

Dans ces régions défavorisées, on a atteint le point ultime de la ségrégation des domaines agricoles et forestiers. La forêt entrave par sa progression toute reconversion de la mise en valeur agricole vers l'élevage extensif. Elle est devenue un mode conquérant d'occupation du sol, conçu en fonction d'objectifs économiques nationaux et contrôlé par des propriétaires, souvent absentéistes, qui utiliseront ailleurs les revenus éventuels de leurs plantations. Après l'avoir grignoté, la forêt dévore l'espace rural. Conscients de cette création de déséquilibres agrosylvopastoraux par excès de reboisements et de la réactivation du « *vieux conflit agriculture-forêt* », certains forestiers, comme Prax ou Gadant, prônèrent, dès les années 60, une articulation des politiques forestières et agricoles. En se coordonnant et en utilisant les notions de vocation des terres et de zonage, les services agricoles et forestiers tentèrent alors localement de réaliser des aménagements ruraux globaux. Cette recherche d'un consensus social aboutit à la promulgation, en 1985, de nouvelles lois foncière et forestière. Mais, actuellement, dans la nouvelle période de déprise agricole, c'est surtout la baisse des ressources financières du F.F.N. qui a permis d'éviter que ne se ravive le conflit.

Conclusion

Aujourd'hui, la France ne manque plus de bois. Grâce au F.F.N. et à ses 2 millions d'hectares reboisés, la forêt couvre maintenant environ 15 millions d'hectares et connaît une *"montée en puissance"*. Pourtant, le déficit de la balance commerciale de la filière-bois est croissant: d'après les chiffres, la faute en incombe apparemment moins à la production ligneuse qu'à l'industrie. Sa résorption dépend surtout du rétablissement de la compétitivité des industries d'ameublement et papetières. Mais, voulant masquer leurs propres carences, les industriels imputent le déficit commercial de la filière, soit aux *"structures obsolètes"* de la forêt privée, trop morcelée, trop peu productive, trop mal entretenue, trop imprégnée de valeurs symboliques, soit au *"secteur archaïque"* de l'exploitation forestière avec ses *"maquignons du bois"* incapables selon eux de bien mobiliser la ressource. Pour les industriels, la forêt est en effet moins un lieu où des sylviculteurs produisent une marchandise à transformer, qu'un *"gisement"* de matière première dans lequel ils puisent en fonction de leurs besoins. Une nouvelle menace plane donc sur la forêt: elle est due à la mésentente entre la sylviculture et l'industrie.

Après un siècle d'exode rural, les forêts ne sont plus menacées par d'éventuels prélèvements excessifs: on estime au contraire qu'environ un tiers de la ressource mobilisable ne l'est pas. Maintenant la déprise agricole nuit aux peuplements dont elle a permis l'installation. Des reboisements résineux installés à grand prix ne sont, faute de dégagements et d'éclaircies judicieuses, que des friches forestières. Les sous-bois embroussaillés et l'enfrichement des

coups agricoles d'autrefois augmentent les risques de déclenchement et de propagation du feu. Ni l'intensification laitière, ni le "ranching", ni le tourisme, ni les plantations du F.F.N. n'ont réussi à maintenir une population suffisante pour préserver un minimum de vie sociale, maîtriser la végétation, et entretenir le paysage dans les régions marginalisées. Aujourd'hui, celles-ci "bénéficient" à la fois d'une agriculture sacrifiée et d'une forêt conquérante, d'un taux de population faible et d'un taux de boisement élevé. On est ainsi passé de la crainte d'une surexploitation du patrimoine forestier à celle d'une sous-exploitation chronique; de la peur des ruraux à celle du désert. Certes les agriculteurs possèdent 2 millions d'hectares de bois d'origine diverse. Mais, conçue comme réserve financière sur pied, sollicitée lors des coups durs et servant à diminuer les soultes versées aux cohéritiers, cette forêt paysanne ne le reste souvent pas longtemps. Morcelée, produisant surtout du bois de chauffage, et ne représentant qu'une faible surface, elle n'alimente guère l'industrie.

Pour entretenir, surveiller et protéger le patrimoine forestier national, ne faudrait-il pas que les habitants résiduels possèdent des bois et les exploitent, mais aussi qu'ils se procurent dans les forêts des "autres" des activités leur procurant sinon des revenus accessoires, du moins des bénéfices symboliques? Les agriculteurs ne devraient-ils pas aussi pouvoir, à temps perdu, valoriser les parcelles laissées pour compte par les marchands de bois et mobiliser les ressources potentielles de la forêt des "absents"? De nouveaux modèles de développement adaptés aux conditions écologiques et sociales de ces régions sont à inventer; ainsi, des "bricolages", méprisés mais concourant à la lutte contre le feu, tels que le pâturage en sous-bois ou la cueillette de menus produits, devraient être revalorisés et adaptés aux conditions nouvelles du marché. Des traitements sylvicoles performants et adaptés aux contraintes de la forêt paysanne restent à trouver: une agroforesterie intensive pourrait éviter en partie le gel des terres en permettant à des éleveurs d'être aussi des cultivateurs d'arbres.

Mais, même si les agriculteurs deviennent de "*bons propriétaires sylviculteurs*", ils ne pourront améliorer à eux seuls l'approvisionnement de la filière-bois. Ce n'est pas non plus dans les bois que l'on trouvera la solution à la déprise agricole. Cependant, si les paysans arrivent à tirer un meilleur parti du patrimoine arboré, ils contribueront à la protection et à la mobilisation des ressources ligneuses et ils permettront le maintien d'une activité économique et d'une vie sociale dans les campagnes. Après la "normalisation" de l'espace au nom du progrès, on doit rechercher la diversité des pratiques. Tout le monde a aujourd'hui intérêt à la célébration de retrouvailles conviviales entre la forêt et l'agriculture.

Pour en savoir plus

LARRERE (R.), NOUGAREDE (O.) – La forêt dans l'histoire des systèmes agraires: de la dissociation à la réinsertion. – *Cahiers d'Économie et Sociologie Rurales*, 1990, n° 15–16, pp. 11–38.

LARRERE (R.), NOUGAREDE (O.) – Des hommes et des forêts. – *Découvertes-Gallimard*, 1993, 128 p.

NOUGAREDE (O.) – Comment paysans et forestiers se perçurent mutuellement comme dendroclastes et agrophages. – *Communication au colloque européen de 1993: La Forêt, les Savoir et le Citoyen*, à paraître en 1995, 11p.

NOUGAREDE (O.) – L'équilibre agrosylvopastoral, premier essai de réconciliation entre l'agriculture et la forêt. – *Revue Forestière Française*, à paraître en 1994, 21p.

Relations actuelles agriculture–forêt en France : bilan statistique et socio–économique

Dominique Normandin

INRA – Unité d'Économie et de sociologie rurales
14, rue de Girardet, 54000 Nancy
Tél. 83 35 43 06 – Fax 83 37 06 45

L'objet de cette note est de présenter un état des lieux des connaissances statistiques et monographiques actuelles en matière relations agriculture/forêt en France. Elle vise d'abord à donner des points de repère globaux sur l'importance et la nature de ces relations dans leurs divers aspects. Elle se propose dans une deuxième partie de caractériser plus précisément les structures et les activités forestières des agriculteurs essentiellement dans le cadre de la forêt agricole et de s'interroger sur les moyens et les déterminants de ces activités, notamment dans le contexte des évolutions politiques actuelles (réforme de la PAC).

I - Données de cadrage

1 - La forêt agricole en France : importance et évolution

Un premier niveau d'analyse, le plus traditionnel, des relations agriculture/forêt est celui des surfaces boisées dont la gestion et l'utilisation relèvent, sous une forme ou une autre, d'agriculteurs et qui constituent ce que l'on appelle généralement la forêt paysanne. L'appréciation de l'importance et des caractéristiques de ces bois peut se faire dans deux cadres différents impliquant des approches distinctes de la forêt agricole : celui de l'exploitation agricole, celui du ménage agricole. Dans le premier cas l'étude se fonde sur l'unité de production agricole et le critère de rattachement des surfaces boisées repose sur une notion d'usage. Il s'agit des surfaces boisées dont l'exploitant dispose et qu'il estime incluses dans son exploitation. C'est la définition qui prévaut dans toutes les enquêtes agricoles (RGA par exemple), de loin les plus nombreuses et les plus fréquentes. Dans le deuxième cas l'étude se fonde sur l'unité de patrimoine et le critère de rattachement des surfaces boisées repose sur une notion de propriété. Il s'agit des surfaces boisées détenues par une personne physique ou une communauté matrimoniale dont l'activité professionnelle principale est l'agriculture. C'est la définition qui prévaut dans les enquêtes forestières (ESSES notamment) (1).

On peut dresser, essentiellement sur la base des enquêtes sur les exploitations agricoles, un premier bilan de l'importance et de l'évolution de la forêt agricole en France (Cf. graphe 1). Pour s'en tenir aux RGA, en près de 20 ans la surface des bois et forêts dépendants d'exploitations agricoles a diminué de 30%, passant de 3.100.000 ha en 1970 à 2.200.000 ha en 1988 (- 900.000 ha soit - 50.000 ha/an). Parallèlement le nombre d'exploitations disposant

1 Formellement les deux champs sont donc assez distincts. On sait que majoritairement (86% des surfaces d'après l'EASEA 1977) les surfaces rattachées aux exploitations sont en propriété ; pour 14% d'entre elles il y a cependant dissociation entre l'unité d'exploitation et l'unité de propriété. Inversement, des surfaces boisées propriétés d'agriculteurs peuvent ne pas être considérées comme rattachées à une exploitation (éloignement du siège de l'exploitation notamment).

de surfaces boisées est passé de 659.000 à 434.000 soit une réduction de 34% (2). Du fait de cette diminution relative à peu près identique de la surface et du nombre, la surface moyenne des bois rattachés aux exploitations agricoles est restée sensiblement constante : 4,7 ha en 1970, 5 ha en 1988.

Une telle évolution de la forêt agricole accompagne certes le mouvement général de recul de l'agriculture. On note cependant que, dans la même période, la SAU n'a connu qu'une diminution relative de 4% (de 29,9 à 28,6 millions d'hectares). La réduction du territoire boisé des exploitations agricoles est ainsi proportionnellement beaucoup plus forte que celle des sols consacrés à la production agricole. Par contre la diminution du nombre d'exploitations disposant de bois et forêts est identique à celle du total des exploitations comme en témoigne la grande stabilité de leur proportion dans l'ensemble : un peu plus de 40%. La réduction de surface de la forêt agricole ne semble alors pas imputable à la disparition d'une catégorie particulière d'exploitations mais à un mouvement plus général.

Par ailleurs, le territoire forestier s'est globalement accru au cours des 20 dernières années (d'environ 20.000 ha/an d'après l'enquête TERUTI du SCEES). Les statistiques de défrichement et de boisement de sols nus ne permettent en outre pas d'expliquer par un processus de déboisement/reboisement l'ampleur la réduction des surfaces boisées agricoles. On peut alors admettre que, même si une partie de celle-ci est imputable à des déboisements (3), l'essentiel du phénomène provient d'une dissociation des terres agricoles et forestières lors des transmissions d'exploitations. Les terres agricoles sont reprises par des exploitants (successeurs directs ou non), les surfaces boisées passent à d'autres catégories d'agents (retraités agricoles d'abord, puis leurs héritiers non-agriculteurs), ce qui ne fait que confirmer une tendance historique déjà connue.

La part de la forêt paysanne dans forêt privée est ainsi passée en 20 ans d'un peu plus de 30% à environ 20 %. Cette évolution traduit une tendance "lourde" résultant à la fois d'un processus démographique et économique : prise de retraite des exploitants âgés, concentration des exploitations, faible intérêt des jeunes qui s'installent pour la forêt (4). Dans ces conditions, si on prolonge les tendances passées et sur la base des projections démographiques du SCEES (5), on peut estimer qu'à l'horizon 2000 la forêt agricole :

* concernerait environ 305.000 exploitations (43% des 710.000 exploitations demeurant à cette date)

* couvrirait entre 1.500.000 ha et 1.600.000 ha (4,7 ha à 5 ha par exploitation), soit 15% de la forêt privée.

2 On note que l'enquête sur la propriété forestière (ESSES) fournit des résultats très comparables en surface, mais nettement plus élevés en nombre (1,5 fois plus fort) que les enquêtes d'exploitation agricole des dates voisines. Ceci peut s'expliquer par les différences de champs entre les deux types d'enquêtes (exploitation, propriété) et résulte vraisemblablement de l'existence de plusieurs propriétaires forestiers (chef d'exploitation, conjoint, ...) dans la même exploitation agricole.

3 - Notamment par de jeunes exploitants s'installant.

4 - Ce que tendent à confirmer des enquêtes auprès d'exploitants ainsi que la répartition de la forêt agricole par classes d'âge des exploitants (Cf. infra).

5 - Cf. Rattin S. - 700.000 exploitants agricoles en l'an 2.000. AGRESTE, Cahiers, Analyses et études n° 9, mars 1992, pp. 3-8.

Il s'agit ici bien entendu d'une projection "inerte", qui ne tient pas compte des modifications qui peuvent amplifier le phénomène de diminution de la forêt agricole (augmentation des départs à la retraite par l'instauration des pré-retraites) ou au contraire le réduire (modifications des comportements des agriculteurs par l'instauration de nouvelles aides au boisement ou la mise au point de nouveaux modèles de gestion).

2 - Les autres relations agriculture/forêt au niveau du foncier

Au-delà des relations "directes" entre surfaces boisées et agriculture que permettent d'apprécier les données précédentes relatives à la propriété forestière des agriculteurs ou aux bois et forêts rattachés à des exploitations, deux autres types de liaison entre agriculture et forêt peuvent être envisagées au niveau de l'utilisation de l'espace. Il s'agit d'une part des combinaisons d'usages agricoles et forestiers sur un même sol (production de bois sur des sols agricoles, production agricole sur des sols boisés) quelle qu'en soit le mode d'appropriation ou de rattachement. Il s'agit d'autre part des liens pouvant exister au niveau de la propriété foncière rurale. Dans les deux cas les données statistiques sont beaucoup plus restreintes et fragiles que pour ce qui est de la forêt paysanne.

La superposition d'usages agricole et forestier sur un même sol peut être approchée par les résultats de l'enquête TERUTI du SCEES. Celle-ci décrit, sur la base d'un échantillon de 556.000 points répartis sur le territoire métropolitain que des enquêteurs départementaux viennent annuellement observer, l'état du sol (nomenclature physique en 81 postes) et estime (6) son utilisation (nomenclature fonctionnelle en 25 postes). Le croisement des deux nomenclatures permet d'apprécier l'importance de ces associations d'usages. Ainsi en 1993, l'enquête a recensé (Cf. graphe 2) :

* environ 6.000 ha de "peupleraies associées" (2,5% des peupleraies) qui, bien qu'affectées à la production ligneuse, correspondent, par définition (peupleraie en plein cultivée en association avec une production agricole), à une juxtaposition d'usages,

* une proportion extrêmement minime de terres agricoles sur lesquelles une production de bois a été reconnue : 2.000 ha soit moins de 1/10.000^{ème} de la SAU,

* environ 220.000 ha de sols boisés (1,4% des sols boisés) donnant lieu à une activité agricole régulière ou occasionnelle (généralement pâturage). Celle-ci est proportionnellement surtout le fait dans les formations boisées de petite taille (bosquets et arbres épars) pour lesquels 10% de la surface sont concernés alors que moins de 1% des bois et forêts proprement dits (plus de 0,5 ha) donne lieu à un usage agricole.

En fait, c'est surtout sur des catégories de sols marginales ou particulières que l'on observe des associations d'usages agricole et forestier. C'est ainsi que 11% des landes (environ 300.000 ha), qui sont des sols présentant une certaine densité d'essences ligneuses et qui constituent un des lieux privilégiés d'extension de la forêt, donnent lieu à une activité agricole (essentiellement occasionnelle). C'est ainsi également que les haies, dont les usages agricoles (notamment indirects) sont bien connus, présentent pour les deux tiers d'entre elles (équivalents à 375.000 ha) une fonction de production de bois.

6 - Faut de enquête directe auprès des propriétaires ou des usagers du sol concerné, l'estimation de l'utilisation fonctionnelle du sol est parfois assez subjective (sauf cas évidents : route par exemple).

Les données concernant la propriété foncière rurale mixte agricole et forestière sont beaucoup plus rares. Les enquêtes foncières agricoles ne s'intéressent en effet pas aux surfaces boisées et les enquêtes d'exploitation ne concernent pas la propriété foncière. Seule l'enquête sur la forêt privée (ESSES) apporte quelques renseignements sur ce point.

On sait ainsi que plus de 80% des propriétaires forestiers (personnes physiques ou communautés matrimoniales) qui détiennent plus de 1 ha de surface boisée (au total environ 6.500.000 ha de forêt) détiennent aussi des terres agricoles dont 75% plus de 4 ha. Si l'on exclut les propriétaires forestiers agriculteurs (dont 98% détiennent des terres agricoles), c'est environ la moitié des propriétaires forestiers non-agriculteurs (47%) qui possède aussi de la SAU.

L'estimation des surfaces agricoles concernées est délicate en raison de difficultés d'extrapolation à la SAU d'une enquête dont l'échantillon repose sur la surface boisée. En se limitant aux résultats non extrapolés (échantillon de 22.000 propriétaires forestiers) on constate cependant que les propriétaires forestiers non-agriculteurs détiennent globalement les 3/4 de la surface boisée mais également près de la moitié de la SAU saisie dans l'enquête (Cf. graphe 3). Les terres agricoles représentent ainsi globalement 40% du patrimoine foncier non bâti de ces propriétaires forestiers qui sont alors aussi des bailleurs. Le rapport est de 1/3 de surfaces boisées, 2/3 de terres agricoles pour les propriétaires forestiers agriculteurs. Au total, la surface agricole détenue par les propriétaires forestiers enquêtés est sensiblement égale à la surface boisée qu'ils possèdent. Au-delà des surfaces boisées directement rattachées à une exploitation ou un ménage agricole, on constate donc l'existence d'une importante propriété foncière mixte agricole et forestière de non-agriculteurs. Les arbitrages que réalisent ces propriétaires dans l'affectation de leur patrimoine foncier peuvent jouer un rôle notable dans l'évolution des usages du sol, à une époque où se mettent en place des mesures visant à inciter le boisement de terres agricoles.

3 - La pluriactivité forestière des agriculteurs

Enfin, un troisième volet des relations entre agriculture et forêt est celui de l'exercice d'une activité forestière extérieure à l'exploitation. Elle est saisie essentiellement (avec des modalités variables selon les dates de réalisation) par les RGA soit dans le cadre des activités professionnelles (principales ou secondaires) exercées par les membres de la population agricole familiale, soit en tant qu'activité diverse accessoire de l'exploitation. Dans le premier cas il s'agit de l'activité professionnelle exercée à titre d'entrepreneur (et non de salarié) en matière de travaux forestiers (sylviculture ou exploitation forestière) par une personne vivant sur l'exploitation. Il s'agit d'une entreprise distincte de l'exploitation, disposant de matériel propre (sinon activité para-agricole non individualisée). Dans le deuxième cas il s'agit de travaux à façon (prestation de services hors salariat et entreprise indépendante) de sylviculture ou d'exploitation forestière réalisés avec les moyens (matériel et main d'oeuvre) de l'exploitation agricole. Dans les deux cas les travaux forestiers réalisés dans les surfaces boisées rattachées à l'exploitation sont exclus.

En 1988, on dénombrait en France 3.340 membres de la population agricole familiale exerçant une activité professionnelle principale ou secondaire d'entrepreneur de travaux forestiers. Celle-ci est surtout le fait de chefs d'exploitations (76% de l'ensemble), essentiellement à titre secondaire (60% des chefs d'exploitation). L'activité forestière ne représente qu'une part très minime (mais stable dans le temps) des activités professionnelles non agricoles de la population agricole : moins de 6‰ des membres des exploitations ayant une activité extérieure. Ces activités forestières sont cependant beaucoup plus notables, du

moins en nombre, si on les compare aux 7.000 entreprises d'exploitation forestière recensées en France en 1989. L'importance des travaux forestiers à façon réalisés par les exploitations agricoles est également assez réduite : 1.000 exploitations pour la sylviculture, 3.500 pour l'exploitation forestière, ce qui représente au total moins de 1% des exploitations agricoles. Elles ne sont cependant pas négligeables par rapport à d'autres activités extérieures des exploitations dont on peut penser qu'elles sont faciles à exercer par les agriculteurs : travaux agricoles à façon (14.500 exploitations), tourisme (restauration, hébergement ; 16.500 exploitations).

L'effet sur l'économie des exploitations agricoles de ces travaux forestiers extérieurs n'est pas statistiquement mesurable (7). Une enquête réalisée en Lorraine en 1994 montre que les exploitations concernées sont, très logiquement, celles dont les revenus agricoles sont les plus faibles. Le niveau annuel moyen d'activité forestière extérieure de ces exploitations est d'un mois de travail pour un volume exploité de 500 m³. Le revenu correspondant est de l'ordre de 20.000 F/an, ce qui peut permettre, pour les plus petites exploitations, d'accroître de 40% le revenu issu de la production agricole (50.000 F/an/exploitation d'élevage laitier en 1990).

Le développement de ce type d'activités extérieures se heurte principalement à trois grands problèmes : un système juridique et fiscal très complexe, la concurrence des exploitants forestiers spécialisés notamment pour les chantiers les plus rémunérateurs, les difficultés et les perspectives incertaines de développement de la filière-bois française dans la concurrence internationale.

II - Caractéristiques de structures, d'activités, de motivations

1 - Eléments sur les structures des exploitations et de la forêt agricole.

La forêt agricole est essentiellement localisée dans le Sud, et notamment le Sud-Ouest, et le Centre de la France où elle représente souvent une part importante de la forêt privée (42% en Midi-Pyrénées). Les exploitations concernées sont d'abord caractérisées par une surface agricole sensiblement supérieure à celle des exploitations sans surfaces boisées. En 1988, la SAU moyenne des exploitations individuelles avec bois était de 30 ha, celle des exploitations individuelles sans bois de 20 ha (8). La majorité de la forêt agricole (55% de la surface boisée agricole) est rattachée à des exploitations de taille "moyenne" (SAU comprise entre 10 ha et 50 ha). Elle ne concerne que peu les plus petites exploitations (moins de 10% dans des exploitations de moins de 5 ha) et très peu les plus grandes (moins de .2% dans des exploitations de plus de 300 ha). Il s'agit là d'une caractéristique assez générale que l'on retrouve dans la plupart des pays de l'Union Européenne et qui résulte probablement de l'histoire foncière des exploitations en cause.

Bien que de taille foncière plus élevée en moyenne, les exploitations individuelles ayant des surfaces boisées présentent souvent un niveau d'activité économique plus faible que les autres. C'est ainsi que 86% de la forêt agricole dépend d'exploitations de dimension

7 - Ainsi les données du RICA (Réseau d'information comptable agricole) ne permettent pas d'identifier cette source de revenu.

8 - Près de 18% de la forêt agricole dépend par ailleurs d'exploitations de type sociétaire (GAEC, EARL) dont la SAU est nettement plus élevée.

économique faible ou moyenne (9), alors que ces mêmes exploitations ne rassemblent que 70% de la SAU. L'association des caractéristiques de taille foncière et de dimension économique de ces exploitations peut être un indicateur de leur caractère plutôt extensif (exploitations d'élevage extensif).

Une autre caractéristique marquante des exploitations ayant des surfaces boisées tient au fait qu'il s'agit essentiellement d'exploitations en faire-valoir direct : 80% de la forêt agricole sont rattachés à des exploitations de ce type (57% à des exploitations en faire-valoir direct pur) (10) alors que celles-ci ne mettent en valeur que 46% (respectivement 22%) de la SAU. Cette constatation renforce l'idée d'une très forte liaison entre agriculture et forêt s'opérant dans le cadre de la propriété foncière.

Enfin, les exploitations ayant des surfaces boisées se caractérisent par l'âge élevé des chefs d'exploitation (Cf. graphe 4) : 60% de la forêt agricole est rattachée à des exploitations dont le chef a plus de 50 ans (qui ne regroupent que 45% de la SAU). Cela n'est pas surprenant quand on sait que les 3/4 de la forêt privée des ménages sont détenus par des propriétaires de plus de 50 ans. On constate en outre que la proportion d'exploitations ayant des surfaces boisées ainsi que la part de la surface boisée dans la surface totale de l'exploitation s'accroît avec l'âge de l'exploitant (11). Il est difficile d'arbitrer dans ce phénomène entre la part imputable à un "effet génération" (agriculteurs ayant toujours disposé de surfaces boisées) et celle provenant d'un "effet âge" (agriculteurs ayant acquis des surfaces boisées). Même si ce dernier est important, cette évolution selon l'âge illustre bien la dissociation entre la logique de production agricole et la logique de propriété forestière : jeune on s'installe agriculteur, on devient à un âge mûr (essentiellement par héritage comme pour l'ensemble de la forêt privée) agriculteur-propriétaire forestier.

En ce qui concerne les surfaces boisées des exploitations agricoles deux points méritent d'être soulignés. Sur le plan des structures foncières, la forêt paysanne est globalement moins morcelée que l'ensemble de la forêt privée : la taille moyenne des surfaces boisées rattachées à des exploitations agricoles est de 5 ha, celle de la propriété forestière de l'ensemble des ménages de 2,2 ha (et celle des ménages agriculteurs de 2,8 ha). Bien que répartie dans toutes les classes de surface boisée, la forêt agricole se distingue par sa plus faible importance relative dans les très petites tailles de surfaces (17% de moins de 4 ha contre 25% pour l'ensemble de la forêt privée) et dans les très grandes (18% de plus de 100 ha contre 25% dans l'ensemble).

Sur le plan des types de peuplements forestiers, la forêt agricole ne se distingue, malgré son appartenance et sa localisation, qu'assez peu de la moyenne de la forêt privée. On note en particulier que, contrairement à une idée répandue, les peupleraies ne semblent pas proportionnellement plus fréquentes dans la forêt paysanne que dans l'ensemble de la forêt privée : environ 2% de la surface boisée totale dans chaque cas. De même les peuplements de taillis simple y sont représentés de façon à peu près identique à la moyenne : 35% de la surface boisée totale contre 32% pour l'ensemble de la forêt privée. La principale différence que l'on

9 - Exploitations dont la marge brute standart (MBS) est inférieure à 40 unités de dimension économique. La MBS est une évaluation, en unités de compte européennes, d'un produit brut potentiel dont on déduit les charges affectées. Il s'agit d'un indicateur proche de la valeur ajoutée.

10 - Les exploitations en faire-valoir direct sont celles où la majorité de la SAU est propriété du responsable économique et financier de l'exploitation. Les exploitations en faire-valoir direct pur sont celles où la proportion de ces terres dépasse 90%.

11 - Avec même une légère tendance au "déboisement" (réduction de la part de bois dans la surface totale) entre 25 et 40 ans (jeunes exploitants).

peut observer tient à la moindre importance dans la forêt paysanne des futaies résineuses (23% de la surface boisée totale contre 35% en moyenne de la forêt privée) et, parallèlement, au poids plus fort des peuplements feuillus de futaie ou de mélange futaie/taillis (40% contre 31%). Peut-être faut-il voir là une conséquence des objectifs assignés à la forêt par les agriculteurs (Cf. infra), qui seraient moins des reboiseurs que les autres catégories de propriétaires forestiers.

Dans ses principales caractéristiques de structure la forêt paysanne ne se distingue pas fondamentalement de l'ensemble de la forêt privée. Au-delà des valeurs moyennes la forêt agricole présente cependant une grande diversité comme en témoignent de nombreuses monographies ou enquêtes locales. De la petite exploitation de moyenne montagne avec quelques hectares de bois aux grandes propriétés agro-forestières du Centre on peut trouver toute une gamme de cas que le seul qualificatif de forêt paysanne ne permet pas de caractériser.

2 - Les activités de gestion forestière des agriculteurs dans leurs bois : la forêt agricole est-elle "mal" gérée?

Pour la première fois en 1988, le RGA a tenté de mieux cerner les activités forestières des exploitants dans leurs bois. Il ressort de l'enquête que ces activités semblent assez réduites sauf en ce qui concerne la récolte de bois de feu qui concernerait les 3/4 des exploitations disposant de surfaces boisées. Des travaux de sylviculture ne sont recensés que pour 18% de ces exploitations et des travaux d'exploitation de bois d'oeuvre ou d'industrie que pour 8% d'entre elles. On pourrait alors conclure à une qualité et une intensité faibles de la gestion forestière de la part des agriculteurs.

Une telle appréciation soulève cependant d'une part le problème de la définition des critères pertinents pour évaluer l'efficacité d'une gestion forestière et des outils de leur mesure, d'autre part celui de la comparaison des activités de gestion forestière des agriculteurs par rapport à celles d'autres catégories de propriétaires forestiers. Compte tenu, notamment, de la longueur du cycle de production et de la variabilité des conditions naturelles des critères objectifs sont malaisés à définir ¹². L'appareil statistique permettant de mesurer avec une certaine précision l'activité en forêt privée est en outre encore très insuffisant (aucune enquête directe de production, ni a fortiori de données sur les investissements en travail et en capital).

L'enquête sur la forêt privée (ESSES) fournit cependant quelques éléments qualitatifs permettant de relativiser le jugement sur les activités de gestion forestière des agriculteurs. On peut en extraire les points suivants (Cf. graphe 5) :

* les agriculteurs sont proportionnellement **2 fois plus nombreux à autoconsommer du bois** que les autres ménages, comme cela semble logique compte tenu, notamment, de leur résidence rurale et des moyens d'exploitation, d'approvisionnement et de stockage dont ils disposent a priori,

* les agriculteurs sont aussi proportionnellement **1,7 fois plus nombreux à réaliser des travaux** dans leurs bois que les autres ménages, mais il s'agit surtout de travaux d'exploitation à des fins d'autoconsommation,

¹² - Ils devraient notamment tenir compte de l'adéquation des activités de gestion avec les objectifs, contraintes et moyens du propriétaire.

* les agriculteurs sont enfin proportionnellement **3 fois plus nombreux à vendre du bois** que l'ensemble des autres propriétaires forestiers et cela est vrai pour toutes les catégories de produits. Les quantités exploitées ne sont cependant pas saisies par cette enquête. Il est donc difficile d'apprécier le degré exact de participation des agriculteurs à l'approvisionnement de la "filière-bois". En 1977, l'enquête EASEA du SCEES avait estimé la récolte de la forêt paysanne à un volume compris entre 8,8 et 11,4 millions de m³ dont 3,5 à 4,2 millions de m³ vendus. Cela représenterait environ 20% des quantités commercialisées par la forêt privée soit le même ordre de grandeur que la part de la forêt paysanne dans la forêt privée.

Avec les données utilisées, la forêt paysanne n'apparaît alors pas particulièrement peu gérée par rapport à la forêt appartenant aux autres catégories de propriétaires forestiers (elle le serait même plutôt plus). Une amélioration de la gestion forestière est certes toujours souhaitable. Il ne semble pas que ce problème soit propre à la forêt des agriculteurs mais concerne une grande part de la forêt privée française. Toute modification ou intensification de la gestion forestière suppose toutefois que les objectifs poursuivis soient compatibles avec ceux des gestionnaires de la forêt et avec leurs contraintes.

3 - Moyens et objectifs des agriculteurs par rapport à la gestion forestière : la question de leur spécificité.

On considère généralement que les exploitants agricoles disposent, par rapport à d'autres catégories de gestionnaires forestiers d'un certain nombre "d'avantages comparatifs" qui les rendent plus aptes que d'autres à pratiquer une gestion forestière de qualité. Ceux-ci tiennent d'abord à leur lieu de résidence qui les situe généralement à proximité immédiate des ressources forestières à gérer. Cette caractéristique est en fait assez relative dans la mesure où l'on sait que 70% de la forêt privée appartient à des propriétaires résidant dans des communes rurales, et seulement 16% à des propriétaires éloignés (hors région de localisation de la forêt).

Les agriculteurs disposent par ailleurs d'une force de travail, d'un savoir-faire technique, de certaines disponibilités en temps et de matériel utilisables pour les travaux forestiers ce qui les distingue effectivement des autres catégories socioprofessionnelles. La périodicité des travaux agricoles (surtout en matière de cultures, nettement moins dans le cas de l'élevage) permet de dégager des temps libres pour une activité forestière (13). Sous réserve de quelques adaptations (de protection notamment) les matériels agricoles peuvent être utilisés dans un certain nombre d'opérations de sylviculture ou d'exploitation forestière (14). Même si ce sont les exploitations dont les chefs sont les plus âgés qui disposent de surfaces boisées, les agriculteurs sont, relativement aux autres propriétaires forestiers dont la moyenne d'âge est de 65 ans, plus aptes à réaliser des travaux en forêt. Ils disposent en outre professionnellement de connaissances biologiques et techniques. Les activités forestières sont enfin souvent présentées comme un moyen de mieux rentabiliser le capital et le travail agricole.

Ces caractéristiques qui plaident en faveur d'une intervention efficace des agriculteurs en forêt sont cependant à relativiser. L'utilisation de matériel agricole en forêt nécessite ainsi quelques précautions ou adaptations. Elle correspond donc à des investissements spécifiques

13 - Dans la majorité des cas (90% des exploitations réalisant des travaux dans leurs bois) les exploitants consacrent 1 semaine à 1 mois aux travaux sur la surface boisée (source : EASEA 1977).

14 - A l'exclusion en général de l'exploitation des gros bois et des coupes situées sur des terrains en pente qui nécessitent le plus souvent un matériel spécifique très onéreux.

ou à des risques de dégradation. Les temps libres dont dispose l'agriculteur pour d'éventuels travaux forestiers (à un coût réduit) peut aussi être consacré à d'autres activités (de production ou de loisirs). Du fait que les exploitants concernés sont en général âgés, la capacité de travail est plus ou moins réduite. Enfin, diverses enquêtes locales montrent que beaucoup d'agriculteurs sont peu sûrs de pouvoir transférer leur savoir-faire technique agricole à un domaine comme la forêt qu'ils estiment très particulier surtout s'il s'agit de conduire une sylviculture de production de bois de qualité. Des actions de formation sont bien sûr envisageables, et les agriculteurs sont, du fait de leur encadrement socioprofessionnel, particulièrement aptes à en bénéficier. Encore faut-il qu'ils souhaitent s'y investir.

La question principale est semble-t-il alors de savoir par rapport à quel objectif de gestion sylvicole, c'est-à-dire pour quel revenu et à quel terme, les agriculteurs sont prêts à utiliser ces moyens de production en forêt. Comme en atteste la nature des activités des agriculteurs dans leurs bois (Cf. supra), l'objectif premier que ceux-ci assignent à la forêt est de fournir des produits utiles à l'exploitation ou au ménage. Dans la majorité des cas (70%) les surfaces boisées agricoles sont destinées à l'approvisionnement des exploitants en produits (notamment bois de feu) ou en argent (source : SCEES-EASEA). L'aspect de réserve de capital n'est pour eux qu'assez secondaire (19% des exploitants). Dans de nombreux cas en outre les activités en forêt sont présentées par les agriculteurs comme une occupation de loisir. Si une spécificité de la forêt paysanne doit être trouvée, elle réside probablement dans le fait qu'il s'agit essentiellement d'une forêt "usagère" : son rôle premier, sinon exclusif, est de satisfaire les besoins à court terme de l'exploitation ou du ménage agricole. L'optique de placement à long terme, et les orientations sylvicoles qu'elle suppose, y est sans doute sensiblement moins présente que chez d'autres catégories de propriétaires forestiers.

De telles motivations semblent, a priori, peu de nature à permettre une modification notable des pratiques forestières des agriculteurs dans le sens d'une augmentation à terme de la production de bois utilisables par l'industrie (bois d'oeuvre ou de trituration), que ce soit par transformation de la forêt paysanne existante ou par création d'une nouvelle forêt agricole.

Les évolutions actuelles du contexte de politique agricole pourraient cependant infléchir les comportements des agriculteurs vis-à-vis de la gestion forestière. On sait en effet que, dans le cadre notamment de la limitation des productions agricoles, diverses mesures visant à favoriser le boisement par les agriculteurs ont été prises. Prenant acte du fait que le très long terme de la production forestière était un obstacle important au développement d'activités sylvicoles par les exploitants agricoles, les instances communautaires ont préconisé d'inciter celles-ci notamment par l'octroi de primes annuelles (15). Ces mesures constituent un tournant important, du moins en théorie, dans la logique économique de la production forestière : à une optique exclusivement patrimoniale se substitue une optique associant revenus à court terme et patrimoine.

L'effet de ces mesures récentes est encore difficile à apprécier. On sait cependant que dans le cadre de l'opération de retrait volontaire des terres arables (1988-1992) où une option

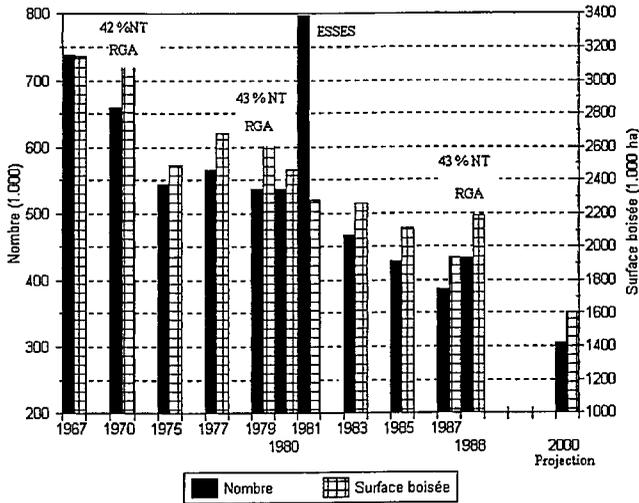
15 - La prime au boisement des terres agricoles (PBT) par les exploitants est actuellement en France de 1.000 F/ha/an et octroyée pendant 5 ans pour des taillis à courte rotation, 7 ans pour des peupliers, 10 ans pour des résineux et des feuillus sauf chêne et hêtre et 15 ans pour les chênes et hêtre (décret du 6/12/91). La prime est réservée aux exploitants en activité ; sa perception cesse lors de la prise de retraite. Son niveau est conforme au plafond préconisé par la Commission des Communautés Européennes dans son règlement du 15 juillet 1991. Constatant que le niveau des primes semblait insuffisamment incitatif les instances communautaires ont depuis (règlement du 30 juin 1992) préconisé de porter son plafond à 4.000 F/ha (et d'étendre son bénéfice à des non exploitants pour un plafond de 1.000 F/ha).

de jachère boisée était prévue, les exploitants se sont peu tournés vers celle-ci : environ 7.500 ha (1.800 ha/an) soit moins de 3% des surfaces agricoles retirées de la culture (qui elles mêmes ont été proportionnellement peu importantes). Cette possibilité était pourtant associée à une prime supérieure (mais sur une durée plus courte) que la prime actuellement en vigueur. La première année de mise en application de la PBTA n'a pas modifié sensiblement la tendance : 1.100 ha boisés en 1992 par une centaine d'exploitants. Cela représente moins de 10% des surfaces de boisement d'extension forestière financées avec l'aide du FFN (12.000 ha en 1992, 3.500 ha seulement en 1993 en raison de la crise financière du FFN). Il est vrai que le boisement de terres agricoles par les exploitants se heurte à un certain nombre de contraintes d'ordre économique (prime faible par rapport aux marges agricoles ; investissement initial insuffisamment aidé), réglementaire (zonage agriculture/forêt ; concurrence d'autres mesures de la réforme de la PAC), budgétaire voire psychologique (le boisement d'une terre est souvent perçu par les agriculteurs comme un échec sur le plan agricole, c'est-à-dire professionnel). Quoiqu'il en soit, on peut considérer aujourd'hui que ce dispositif n'entraîne pas une adhésion massive des agriculteurs.

Il contient pourtant une autre originalité qui est de distinguer, *es qualité*, les exploitants agricoles des autres catégories de gestionnaires forestiers privés ce qui n'était pas le cas auparavant. En outre, il semble s'adresser plus explicitement à l'entreprise agricole qu'au ménage agriculteur : prime pour perte de revenus à court terme, boisement de terres à usage productif agricole. En ce sens il se situe clairement dans la logique de la constitution d'une nouvelle forêt agricole de type plus "industriel" et moins (ou secondairement) patrimonial. Il rejoint en cela les recherches sur les nouveaux itinéraires techniques d'association agriculture/forêt.

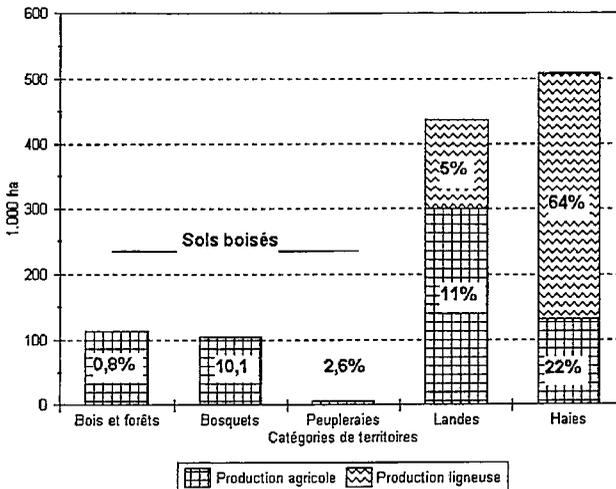
La question qui se pose alors par rapport au développement de surfaces boisées au sein des exploitations agricoles (dans des unités distinctes ou au sein des mêmes ateliers de production) est de savoir dans quelle mesure et pour quel(s) objectif(s) l'agriculteur peut être prêt à utiliser des moyens de production (terre, capital, travail) à des fins non agricoles, c'est-à-dire avec quelle rémunération. Si on se place dans une optique d'entreprise qui est celle de l'exploitation agricole, il est peu probable que la seule perspective de valorisation à long terme du capital soit suffisante pour motiver des boisements. Ceux-ci ne paraissent susceptibles de se développer que s'ils sont largement encouragés par des aides publiques. Le problème qui est posé est alors celui du bilan coûts/avantages pour la collectivité.

Graphe 1 : évolution de la forêt agricole en France



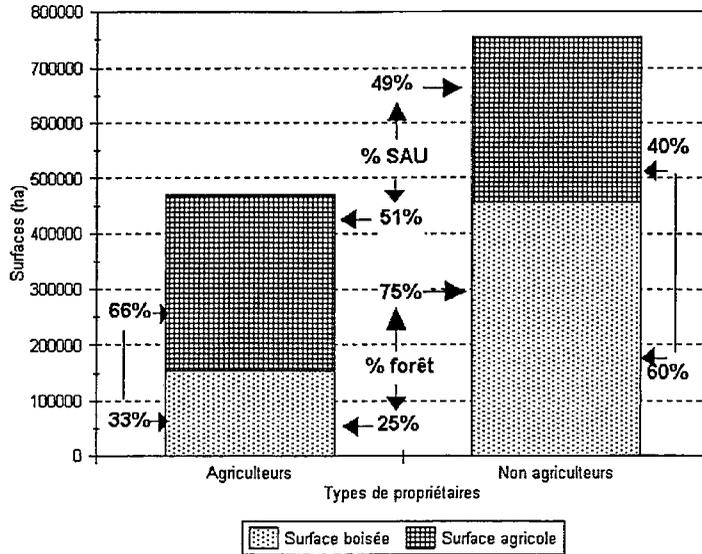
Sources : 1967, 1975, 1980, 1983, 1985, 1987 : Enquêtes communautaires sur la structure des exploitations agricoles
 1977 : SCEES - EASEA (Enquête sur les Activités Sylvicoles des Exploitations Agricoles)
 1970, 1980, 1988 : SCEES-RGA
 1981 (1976/1983) : SCEES-ESSES (Enquête Statistique sur les Structures Economiques de la Sylviculture)

Graphe 2 : usages agricoles et forestiers pour différentes occupations physiques du territoire en 1993



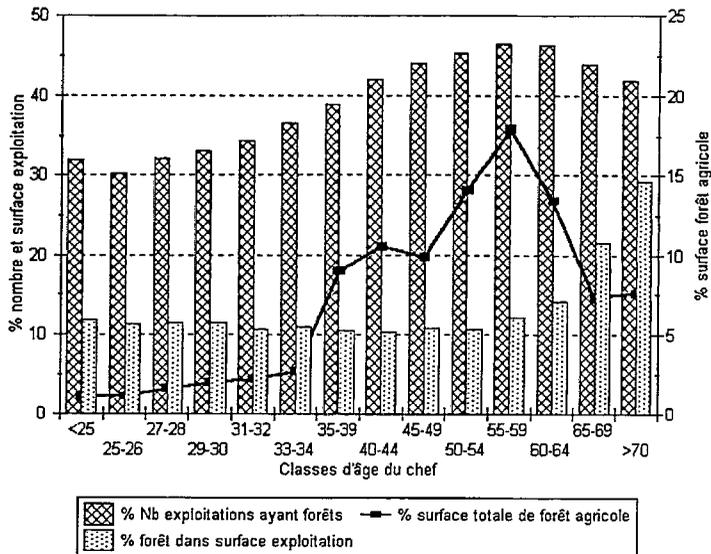
Source : SCEES-TERUTI
 % = % de la surface totale de la catégorie de territoire

Graphe 3 : la propriété foncière mixte agricole et forestière dans l'échantillon de L'ESSES



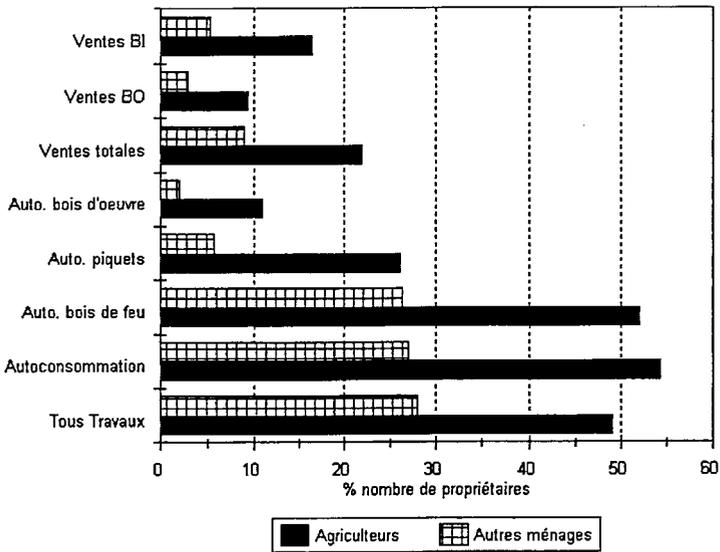
Source : SCEES-ESSES (1976/1983)

Graphe 4 : la forêt agricole selon l'âge du chef d'exploitation



Source : SCEES-RGA 1988

Graph 5 : activités de gestion forestière comparées des agriculteurs et des autres catégories de ménages propriétaires forestiers



Source : SCEES-ESSES (1976/1983)



Deuxième partie

**Problèmes et questions
de recherche**

Systemes écologiques
Biodiversité

Biodiversité et forêt paysanne : de la théorie à la pratique

Gérard Balent – Marc Deconchat

INRA – Unité Systèmes agraires et développement
Chemin Borde-Rouge, 31326 Auzeville
Tél. 61 28 50 28 – Fax 61 28 53 72

1 – La Biodiversité : un indicateur de la santé des systèmes écologiques

La préservation de la diversité biologique ou biodiversité est récemment devenue une préoccupation de plusieurs organismes internationaux. Souvent assimilée à la seule richesse spécifique (le nombre d'espèces), la diversité biologique recouvre en fait tous les niveaux d'organisation de la vie, des gènes aux paysages, en passant par les populations, les communautés et les écosystèmes (Di Castri & Younes, 1990). A chacun de ces niveaux d'organisation, elle se caractérise non seulement par la diversité de ses composants, mais aussi par sa diversité structurelle et fonctionnelle (Noss, 1990) (Tableau 1). Pour étudier la biodiversité d'un système écologique donné il apparaît donc essentiel de prendre en compte simultanément plusieurs niveaux d'organisation (Norton & Ulanowicz, 1992).

STRUCTURE	FONCTIONNEMENT	COMPOSITION
Structure des paysages	Processus, perturbations Tendances dans l'utilisation du territoire	Types de paysages
Physionomie Structure des habitats	Interactions entre espèces Processus au niveau des systèmes écologiques	Communautés Ecosystèmes
Structure de populations	Processus démographiques « Life histories »	Espèces Populations
Structure génétique	Processus génétiques	Gènes

Tableau 1 : Niveaux et composantes de la biodiversité (d'après Noss, 1990)

Mais pourquoi s'intéresse t-on à la biodiversité? Les raisons sont nombreuses, qu'elles relèvent d'une éthique ou de la morale – nous n'avons pas le droit de détruire la diversité du vivant –, de considérations économiques à long terme – toute espèce est potentiellement utilisable par l'homme –, ou de considérations environnementales – les systèmes écologiques, par leur diversité de composition, de structure et de fonctionnement, assurent le maintien

durable de l'équilibre planétaire (Erhenfeld, 1988) -. Dans le dernier cas, la diversité biologique est un indicateur de l'état d'un système écologique, de ses possibilités d'adaptation aux changements de facteurs de son environnement sous l'effet d'une perturbation (*disturbance*) d'origine naturelle ou anthropique (Chapin et al., 1992; Balent, 1994). Il est important de noter, et ceci est particulièrement vrai dans le cas des paysages agricoles, que les perturbations d'origine humaine sont un facteur important de biodiversité, qu'il convient de maintenir (Hobbs & Huenneke, 1992; Pimentel et al, 1992).

2 – Forêt paysanne et biodiversité : la nécessité d'une approche hiérarchique

La biodiversité des formations boisées est en général élevée (Franklin & Forman, 1987). Le rôle de ces formations est particulièrement important dans les paysages agricoles où elles conditionnent largement la diversité biologique. On peut trouver de 800 à 1500 espèces animales, en zone tempérée, dans un paysage mixte de culture céréalière et de bois de feuillus, contre 600 seulement s'il n'y a pas de bois (Paoletti et al, 1992). Dans les coteaux de Gascogne, Balent & Courtiade (1992) ont montré que les formations boisées (y compris les formations linéaires) contribuent pour 85% à la richesse avifaunistique des paysages.

Nous proposons de définir la forêt paysanne comme l'ensemble des forêts, des bois et des bosquets qui appartient et est géré par les agriculteurs. Par extension on peut lui adjoindre les éléments linéaires comme les haies et les ripisylves qui participent fortement à la structuration et au fonctionnement écologique des paysages. La forêt paysanne se caractérise par un fort morcellement, une grande variabilité dans les usages et les modes d'exploitation, des relations étroites avec les activités agricoles. Elle s'oppose en cela aux forêts à vocation sylvicole qui font l'objet d'aménagements spécifiques et d'une coordination avec la filière de transformation du bois.

La théorie biogéographique des îles (MacArthur & Wilson, 1967) prévoit que la diversité spécifique diminue avec la fragmentation, c'est-à-dire quand la surface des « îles » (les bois plus ou moins isolés) diminue et quand l'éloignement avec le « continent » (une forêt suffisamment importante pour constituer une réserve génétique des espèces végétales et animales) augmente. En réalité, la diversité spécifique ne diminue pas forcément, mais la composition spécifique se modifie (Robinson & Quinn, 1992). En général, quand la fragmentation augmente, les espèces strictement inféodées au milieu forestier diminuent et sont remplacées par des espèces plus ubiquistes et des espèces de lisière (Whitcomb et al., 1981). Les espèces survivent sous forme de métapopulations, par un jeu d'extinctions et de colonisations successives entre les différents bois pour peu que les échanges restent possibles (Opdam, 1991). L'agencement des parcelles boisées dans le paysage, les réseaux qui les relient et la nature de la matrice jouent donc un rôle essentiel dans le maintien des espèces forestières.

Compte tenu de ces observations préliminaires il semble nécessaire d'aborder l'étude des relations entre la forêt paysanne et la biodiversité des paysages agricoles à trois niveaux d'organisation différents (Fuller & Warren, 1991). Tout d'abord au sein même de la formation boisée, la composition botanique de la végétation, la distribution verticale de la végétation, le stade de croissance des arbres, la nature des lisières intérieures (clairières, chemins...) et extérieures, sont autant de facteurs qui conditionnent la qualité de l'habitat. Ces caractéristiques sont sous la dépendance directe des pratiques de gestion sylvicoles et des modes d'utilisation des forêts. La superficie d'un bois, ses formes, ses caractéristiques

géomorphologiques sont un autre groupe de facteurs importants. Enfin, la densité des formations boisées dans une région, la distribution spatiale des bois, leur degré d'isolement, la présence ou non de corridors reliant les différents éléments sont autant de facteurs qui influencent la biodiversité dans les bois avoisinants mais surtout au niveau de l'ensemble du paysage. Un même bois peut être successivement un élément facilitant la circulation des espèces forestières ou une barrière écologique infranchissable pour une espèce de milieu ouvert.

Ce sont ces trois aspects des relations entre forêt paysanne et biodiversité que nous allons successivement évoquer. Il ne s'agit pas ici de dresser un inventaire exhaustif de la littérature (Deconchat & Balent, en préparation) mais plutôt d'en présenter les principaux acquis et de souligner les problèmes que pose l'application de ces résultats au cas particulier de la forêt paysanne. Nous donnerons pour terminer un bref aperçu des premiers résultats obtenus sur ce thème dans les Coteaux de Gascogne.

3 – Pratiques sylvicoles et biodiversité d'un bois

3.1 Choix des essences forestières

Le choix de l'essence est le premier dont se préoccupe le forestier. Ce choix est largement conditionné par les conditions stationnelles et les variables pédologiques sont de première importance. L'origine de l'essence (indigène ou exotique) est un élément essentiel de la biodiversité, les essences indigènes étant toujours plus favorables. En effet le propre des essences exotiques est d'être implantées loin de leur zone d'habitat naturel sans le cortège des espèces qui ont coévolué avec elle. Les différences longtemps évoquées entre les feuillus et les résineux semblent aujourd'hui dépassées. Si des différences existent, elles sont essentiellement dues aux pratiques sylvicoles (monoculture intensive et origine souvent exotique pour les résineux).

La présence d'une végétation naturelle est un facteur très favorable au maintien d'une biodiversité élevée (Lynch & Whigham, 1984; Franklin, 1988). En Australie, dans une plantation d'essences exotiques où les essences naturelles ne représentent que 1% de la biomasse végétale, ces dernières accueillent 64% des espèces d'oiseaux (Curry, 1991).

3.2 La structure de la végétation

Le mélange de différentes essences et une structure irrégulière, avec différentes classes d'âge, sont généralement considérés comme des facteurs favorables à une diversité élevée (Fuller, 1992) au moins sur de petites superficies. Mais plus que l'hétérogénéité horizontale de la végétation, c'est la stratification verticale qui semble être un facteur particulièrement important pour de nombreux groupes d'espèces (Fuller, 1992). Il en va de même pour des éléments comme les clairières, les arbres creux ou le bois mort (nombreuses références). 20% des insectes forestiers sont liés au bois mort et dans l'Oxfordshire, 33% des espèces d'oiseaux forestières arbres creux (Kirby, 1992).

3.3 La dynamique forestière

Les révolutions sylvicoles longues (supérieures à 30 ans) sont favorables aux espèces forestières ayant une valeur patrimoniale élevée alors que des rythmes d'exploitation rapides

comme dans les taillis à courte rotation (souvent cités comme mode de boisement des terres agricoles) ne permettent qu'aux espèces les plus banales de s'installer (Fuller & Warren, 1991). Les rotations rapides ne permettent pas le développement de fonctions écologiques complexes avec des rétro-contrôles régulateurs. Ferry et Frochot (1990) ont montré que dans les stades forestiers matures, 70% des espèces d'oiseaux sont sédentaires alors que les stades forestiers initiaux comportent surtout des migrateurs.

Malgré une bibliographie abondante mais qui concerne presque exclusivement des massifs forestiers de taille importante et à vocation sylvicole très marquée, il reste beaucoup de travail de recherche pour estimer les impacts des différentes techniques et pratiques sylvicoles quand elles s'appliquent à des boisements de faible superficie, à usages multiples ou à de nouvelles formes d'exploitations forestières comme l'agroforesterie.

4 – Morphologie d'un bois et biodiversité

4.1 Le « milieu intérieur » d'un bois

Le milieu intérieur d'un bois correspond à la zone hors des influences des éléments extérieurs dont elle est séparée par la lisière. C'est un élément essentiel de la biodiversité d'un bois (Laurance & Yensen, 1991). Il existe donc des espèces spécifiques à ce milieu intérieur (en général les plus rares) et des espèces de lisières (les plus communes). Pour les oiseaux par exemple, il n'existe pas d'espèces présentes dans un petit bois sans milieu intérieur qui ne puisse se trouver dans un grand bois (avec un milieu intérieur) l'inverse étant faux. On parle de communautés emboîtées (Blake, 1991).

Comment déterminer l'existence d'un milieu intérieur? La largeur de la lisière est très variable selon les critères écologiques retenus (de quelques mètres à plusieurs centaines). Laurance et Yensen (1991) ont proposé d'évaluer la superficie du milieu intérieur à partir de la surface totale du bois, du périmètre et de la largeur de la lisière. Nous proposons plus loin une mesure non surfacique de l'importance du milieu intérieur à partir du rayon du plus grand cercle inscrit dans le contour du bois. Quelque soit la méthode de mesure, le milieu intérieur sera d'autant plus grand que le bois sera grand et de forme compacte.

4.2. La relation surface – nombre d'espèces

La relation entre la superficie d'un milieu et le nombre d'espèces qu'il abrite est sûrement la plus étudiée de l'histoire de l'écologie (Robbins et al., 1989). En général on considère que le nombre d'espèces augmente avec la surface des bois, que l'augmentation est continue et que plus la surface est grande, plus il faut l'augmenter pour contacter une nouvelle espèce.

Là encore ces résultats sont surtout valables pour des bois de taille importante. Or la majorité des formations boisées que l'on peut regrouper sous l'appellation forêt paysanne sont plutôt de petite taille et de formes irrégulières. C'est pourquoi une approche basée sur la distinction entre lisière et milieu intérieur nous semble la plus adaptée pour rendre compte des relations entre morphologie des bois et biodiversité.

5 – Forêt paysanne, fragmentation, paysage et biodiversité

5.1 Distribution spatiale des bois et métapopulations

Pour différentes raisons (aléas climatiques par exemple), une population peut connaître périodiquement des extinctions locales qui modifient la richesse et la composition spécifique des communautés (Opdam et al., 1993). L'arrivée de nouveaux individus, à condition qu'elle soit possible, permet de compenser en partie ou totalement ces pertes. Pour que ce mécanisme fonctionne il faut une ou plusieurs sources de colonisation qui sont des sites où les conditions de vie sont suffisamment favorables pour permettre la production puis la diffusion de propagules vers des sites déficitaires appelés des puits. Les espèces forestières dans les paysages agricoles fonctionnent suivant ce modèle.

Pour rendre compte du fonctionnement d'une population animale ou végétale dans un environnement fragmenté on parle de métapopulations. Une métapopulation est un ensemble de populations définies dans l'espace et dont la démographie est influencée par l'arrangement spatial des taches d'habitat et la résistance de la matrice aux déplacements (Opdam et al., 1993). Le nombre d'espèces d'oiseaux strictement forestiers observables dans un bois est fonction de sa surface et de son isolement par rapport à une source de dissémination, une grande forêt par exemple (Opdam et al., 1985). La localisation spatiale d'un nouveau boisement aura donc une importance très grande sur sa biodiversité. Elle nécessite au préalable d'avoir établi pour une région donnée, la matrice des formations boisées (Lauga, 1989) et, par l'étude de populations indicatrices, la localisation des sources et des puits (Joachim, 1995).

Une fois ces données disponibles, l'effet sur la viabilité des métapopulations de toute adjonction d'un bois dans la matrice doit pouvoir être évaluée. Pour chaque espèce il doit en effet exister un niveau de fragmentation qui permette d'avoir les avantages des sous populations (diversité, indépendance) sans les inconvénients (fragilité) (Robinson & Quinn, 1992). Il est important de savoir si le bois introduit sera une source ou un puits, s'il est localisé à proximité d'une source, sur une voie de circulation des espèces forestières dans le paysage ou bien s'il sera isolé. Répondre à ces questions demande une connaissance du fonctionnement des métapopulations qui n'existe que pour un petit nombre d'espèces essentiellement des oiseaux (Harms & Opdam, 1990 aux Pays-Bas; Lauga & Joachim, 1992 pour Midi-Pyrénées).

5.2 Distribution spatiale des bois et biodiversité forestière

Le concept de métapopulation permet de modéliser les relations entre une répartition spatiale d'une seule espèce et la structure du paysage. En cela il n'apporte qu'une réponse partielle au problème de la conservation de la biodiversité. Il resterait pour cela à définir et à rendre opérationnel le concept de « métacommunauté »... Il est cependant possible à partir du concept de métapopulation de relier morcellement et biodiversité. En effet, s'il existe pour chaque espèce un niveau de morcellement qui lui assure un maintien durable dans un système écologique, on peut penser qu'un gradient de morcellement permettrait à chaque espèce de trouver le niveau qui lui convient (Freemark & Merriam, 1986).

Sur un plan théorique cela donnerait un paysage avec un pôle forestier et un pôle agricole entre lesquels s'échelonnent des bois de taille décroissante. Autour du pôle forestier, formé par des sources de taille importante, se trouveraient des bois de grande taille assez proches les uns des autres, alors que dans le pôle agricole, se trouveraient des petits bois isolés qui malgré leur faible diversité interne participeraient de façon très positive à la biodiversité globale (Forman

et al., 1976). En terme d'aménagement de l'espace le concept de gradient de morcellement reste très théorique et demande à être validé. Signalons que le même type de raisonnement peut s'appliquer à la gestion sylvicole d'un grand massif forestier où une distribution spatiale régulière des coupes est néfaste à la survie des espèces les plus forestières. Des coupes progressives, concentrées dans une zone, ont des effets moins négatifs (Franklin & Forman, 1987). Dans tous les cas, le couplage des concepts de l'écologie du paysage avec les méthodes (fractals: Milne, 1992) et les outils (SIG) aujourd'hui disponibles de description des structures spatiales constitue probablement un élément important pour le succès de ce type de recherche (Opdam, 1990).

Toutefois le facteur limitant risque de rester le manque de connaissance de la dynamique de population des espèces. De nombreux modèles existent. Ils restent souvent théoriques ou ne s'appliquent qu'à la gestion d'une espèce donnée. Un des rares exemples de modèle établi à partir de données de terrain (relevés ornithologiques) est celui de Temple & Carry (1988). Les bois sont découpés en habitats de plus ou moins bonne qualité selon leur proximité de la lisière, dans trois types de paysages morcelés. A quantité d'habitat intérieur comparable, un morcellement important entraîne une diminution des espèces forestières. Ce travail confirme l'importance des zones sources pour le maintien d'espèces forestières dans les espaces morcelés.

5.3 Distribution spatiale des bois et biodiversité non-forestière

Un des éléments important dans le choix de la localisation spatiale d'un boisement dans un paysage agricole est qu'il ne nuise pas au bon fonctionnement d'un milieu ayant une valeur patrimoniale élevée. En effet, l'introduction d'un bois dans un espace agricole modifie fortement les conditions écologiques locales. Si l'apparition de ce nouvel habitat permet l'installation d'espèces nouvelles qui comme nous l'avons vu sont souvent des espèces plutôt communes, il peut contribuer à faire disparaître des espèces de milieu ouvert. Dans ce cas la présence de bois peut être assimilée à une « fragmentation » des milieux ouverts, les bois devenant des barrières écologiques à la dissémination des espèces de ces milieux. La conservation de grands espaces ouverts peut être nécessaire pour la préservation des espèces inféodées à ces milieux.

C'est donc en terme de bilan – espèces entrantes, espèces sortantes – qu'il faut évaluer l'influence d'un bois sur la biodiversité d'un paysage. Curieusement, peu de travaux de recherche ont été consacrés à cette vision en « négatif » de l'action des boisements sur la biodiversité des milieux ouverts alors que l'effet en est très important.

Un autre aspect du rôle des bois dans un paysage agricole est l'interaction directe entre les bois et les activités agricoles. L'état phytosanitaire des cultures est influencé par la présence de milieux boisés et leur morcellement (Harris & Silva-Lopez, 1992). Les bois sont des réservoirs pour les mauvaises herbes et les parasites, mais aussi pour les espèces auxiliaires de la protection des cultures (Dabrowska-Prot, 1991). Ils abritent des populations d'ongulés qui ont une valeur récréative, cynégétique mais qui occasionnent des dégâts aux cultures et aux plantations. Là encore une approche en terme de bilan reste à faire pour établir des connaissances objectives susceptibles de dépassionner bon nombre de débats souvent basés sur des positions idéologiques inconciliables.

6 – Avifaune et biodiversité forestière dans les coteaux de Gascogne

De la théorie à la pratique avons-nous eu l'imprudence de sous-titrer notre contribution! Pour l'instant il semble que le chemin soit long pour rendre opérationnels les différents résultats obtenus le plus souvent « toutes choses égales par ailleurs ». En effet, toutes choses égales par ailleurs, la superficie d'un bois, la présence d'un milieu intérieur, le morcellement du paysage forestier, la structure horizontale ou verticale de la végétation etc.. semblent autant de facteurs essentiels qui conditionnent la biodiversité. Mais qu'en est-il de la hiérarchie de ces facteurs quand on s'intéresse à l'influence des bois sur la biodiversité d'une région donnée? Le seul examen de la littérature ne fournit aucune réponse définitive, simplement une longue liste de variables dont il importe d'évaluer dans une situation donnée le poids respectif (Lemouzy, 1993).

6.1 Eléments de méthodologie

L'objectif est d'évaluer les relations entre les caractéristiques des bois et la biodiversité à trois niveaux suivants: morcellement du paysage forestier, morphologie des bois, caractéristiques de l'habitat forestier. A ces trois niveaux, nous mettons en relation un descripteur écologique (les passereaux nicheurs) et les différentes caractéristiques des formations boisées (Tableau 2) au moyen de méthodes multivariées sous contraintes (Lebreton et al., 1988). Les communautés d'oiseaux ont été décrites au moyen de points d'écoute de 20mn en Mai 1993 entre 6h et 11h du matin, le nombre de points étant proportionnel à la surface des bois (1 point = 4ha). 100 bois ont été choisis de façon à constituer un échantillon stratifié en fonction des paramètres de morphologie et de morcellement.

Stratification de la végétation	Morphologie des bois	Morcellement des paysages
ST25 strate 0-25 cm	S Superficie	P2 Pareto sur 2km de rayon
ST50 strate 25-50 cm	Thick Epaisseur	P4 Pareto sur 4km de rayon
ST1 strate 50cm-1m	Comp Compacité	S2 P% bois sur 2km de rayon
ST2 strate 1-2m	pF plus petit \varnothing de Ferret	S4 P% bois sur 4km de rayon
ST4 strate 2-4 m	gF plus grand \varnothing de Ferret	D5 Dist. moy aux 5 bois voisins
ST8 strate 4-8 m	gF-pF différence gF-pF	D20ha Dist au bois de 20ha le plus proche
ST16 strate 8-16 m	pI plus petit intercept	D50ha Dist au bois de 50ha le plus proche
ST32 strate 16-32 m	gI plus grand intercept	D100ha Dist au bois de 100ha le plus proche
	pI/gI rapport pI sur gI	
	F/I rapport entre F et I	

Tableau 2 : Liste des variables descriptives des 100 formations boisées étudiées. La stratification a été évaluée sur le terrain au cours des points d'écoute. Pour les variables de morphologie et de morcellement on se reportera aux notices des logiciels Visilog, Arc-Info et Erdas que nous avons utilisés pour capturer l'information sur des images Spot; pour le calcul des fonctions de Pareto, à Lauga (1989). (D'après Lemouzy, 1993).

6.2 Premiers résultats

Sur l'ensemble des bois visités au mois de mai 1993, 63 espèces ont été contactées dont 29 espèces forestières retenues pour l'analyse. Ce nombre est relativement faible mais reflète la pauvreté naturelle en espèce des coteaux de Gascogne (Balent et al., 1988 pour les oiseaux, Spitz com.pers. pour les micromammifères) dû à un isolement biogéographique important. Sur les 29 espèces, 6 sont des espèces de lisière (huppe, pivert, rossignol, ...) 13 des ubiquitous forestières (rouge gorge, merle, geai, loriot, ...), 5 des espèces forestières (grives, tourterelle, coucou, ...) et 5 des espèces exclusivement forestières (pic épeiche, sittelle, roitelet, ...).

Nous ne présentons ici que les résultats d'une analyse (Analyse Factorielle des Correspondances sur Variables Instrumentales) combinant les données oiseaux et l'ensemble des variables descriptives des bois regroupées au sein d'un même tableau, l'objectif étant de hiérarchiser le poids de ces dernières.

C'est la variable épaisseur (THICK) qui contribue le plus fortement ($r=-0.92$) au premier facteur de l'AFCVI. (29 % de l'inertie). La variable compacité (COMP) a un comportement voisin ($r=-0.72$). Il s'agit donc d'un axe lié à la morphologie des bois où la combinaison entre une surface élevée et une forme plutôt compacte semble de première importance. On notera, en accord avec la littérature, la pertinence de la variable épaisseur, reflet de l'importance d'un milieu intérieur, mesurée sous une forme simple et rapide dans le logiciel Arc-Info.

Le second axe (20% de l'inertie) est un axe lié à la structure verticale de la végétation. Il oppose les bois à strates buissonnantes importantes (taillis denses) aux bois à strates arborées importantes (taillis sous futaie). La signification des axes 3 et 4 (respectivement 11,5% et 8% de l'inertie) est moins nette. Il est cependant important de noter que ce n'est qu'à ces niveaux que les variables de morcellement du paysage apparaissent comme importantes. La distance au bois source le plus proche (bois > 50ha) est une variable importante sur l'axe 3, la distance aux 5 bois les plus proches apparaissant importante sur l'axe 4.

	F1	F2	F3	F4
THICK	-0.92	0.23	0.04	-0.11
COMP	-0.72	-0.16	-0.11	-0.00
F/I	0.37	-0.21	-0.06	-0.22
ST25	0.16	0.15	-0.08	-0.09
ST50	0.39	0.44	-0.26	-0.07
ST1	0.33	0.42	-0.48	0.00
ST2	0.20	0.39	-0.70	0.20
ST4	0.03	0.37	-0.39	0.38
ST8	-0.11	-0.03	-0.27	0.21
ST16	-0.15	-0.57	0.00	0.02
ST32	0.11	-0.06	0.29	0.19
D50ha	-0.05	0.02	-0.54	-0.37
D5	0.13	0.29	-0.18	-0.42
S2	0.06	0.13	0.53	0.03
P4	0.05	0.30	0.02	0.18

Tableau 3 : Corrélations des variables explicatives avec les quatre premiers axes d'une AFCVI regroupant l'ensemble des variables descriptives des bois.

Les informations fournies par les oiseaux nous permettent de différencier quatre types de boisements:

- Les bosquets isolés à taillis fréquentés par le rossignol et la huppe mais évités par l'ensemble des espèces forestières; Ce sont des bois sans aucun milieu intérieur.

- Des zones de boisements à nombreux bosquets, serrés, formant un réseau presque continu avec des arbres à grand développement. Ils sont fréquentés par le pouillot de Bonelli (espèce de lisière), le gobe-mouche, le grimpereau, l'étourneau (ubiquistes des bois).
- Les forêts en futaie fréquentée par la sittelle.
- Les forêts et gros bois à structure hétérogène avec une végétation buissonnante abondante, fréquentées par le roitelet et le pic épeichette (espèces strictement forestières)

7 – Eléments de discussion

La variable épaisseur semble être la variable la plus explicative de la biodiversité dans la région étudiée. Cela veut dire que pour une surface à boiser donnée on aura toujours intérêt à créer le boisement le plus compact possible si l'on veut maximiser la biodiversité forestière. Un boisement linéaire s'il n'abritera pas d'espèces forestières permettra à celles-ci de circuler au sein d'un paysage fragmenté. La structure verticale de la végétation est également importante bien que dans notre analyse elle représente la structure moyenne de la végétation du bois. Pour aller plus loin il importe de localiser les différents points d'écoute dans les bois pour les situer par rapport aux lisières et au milieu intérieur. Enfin, l'influence de la fragmentation forestière n'intervient qu'en troisième position dans notre analyse. Cela peut être dû à un échantillon pas assez diversifié par rapport au morcellement; Une étude est en cours sur 200 bois répartis dans des paysages plus variés. Cela est probablement dû davantage aux caractéristiques propres de la distribution spatiale des boisements en milieu agricole. Les exploitations agricoles de Midi-Pyrénées possèdent chacune plusieurs hectares de forêt privée. Il va de soit que cela sous-entend un morcellement extrême des bois. Aucun bois ne semble vraiment très isolé des autres. On retrouve les mêmes espèces banales un peu partout et il n'existe pas vraiment, compte tenu de cette extrême fragmentation, d'espèces forestières à haute valeur patrimoniale (chez les passereaux nicheurs) comme cela est le cas dans le bassin parisien (pics noir, cendré, mar). En fait le paysage forestier des coteaux, sur la base de ces premiers résultats obtenus avec les communautés de passereaux, semble présenter une forte hétérogénéité sur une petite étendue, qui produit une certaine homogénéité sur l'ensemble de la région. En fait les conclusions semblent différentes si l'on travaille au niveau des populations. Dans sa thèse, Joachim (1995) a dressé, pour le pinson des arbres à partir de ses dialectes, une carte des puits et des sources ainsi que des corridors de circulation. Cette vision dynamique des échanges intra-régionaux entre zones boisées fait donc apparaître des caractéristiques que les communautés de passereaux particulièrement pauvres en espèce ne laissent pas entrevoir.

Malgré l'abondante littérature sur le sujet, il y a encore loin de la théorie à la pratique en matière d'aménagement forestier d'un territoire agricole avec un objectif de gestion de la biodiversité. Pour avancer dans la compréhension d'un processus qui comme tout processus écologique demande des approches à plusieurs échelles d'espace et de temps (Allen & Starr, 1982) il nous semble nécessaire:

- d'articuler en un même lieu des travaux qui concernent l'utilisation de plusieurs indicateurs écologiques ayant des grains de lecture des paysages forestiers différents et complémentaires;
- d'analyser de manière complémentaire l'effet des boisements sur la biodiversité forestière et sur la biodiversité des milieux ouverts;
- d'établir pour des formations boisées longtemps délaissées par les forestiers, des modèles de gestion sylvicole dont on mesurerait les effets sur la biodiversité des bois;
- de prendre en compte les multiples fonctions de la forêt paysanne qui sont une des conséquences d'une biodiversité élevée (champignons, chasse par exemple);

– de réfléchir à la nature des relations qui existent entre un bon paysage écologique forestier (haut niveau de biodiversité) et un beau paysage forestier capable d'attirer les différents utilisateurs des bois sans oublier mais cela sera maintes fois rappelé au cours de ces journées la fonction de production de bois.

Remerciements

Nous remercions Bernard Courtiade, Sylvain Frémeaux, Jean Joachim et Marc Mougin pour leur participation aux relevés ornithologiques, Claire Lemouzy qui a réalisé un premier traitement de ces données avec le soutien méthodologique de Jérôme Kaan, Jacques Lauga et Pierre Triboulet. Ce travail est soutenu financièrement par le Conseil Régional de Midi-Pyrénées et la CEE (Contrat AIR3 – CT920134).

Références Bibliographiques

- Allen, T.F.H. & Starr, T.B., 1982. *Hierarchy. Perspectives for ecological complexity*. The University of Chicago Press, Chicago: 310 pages.
- Balent, G. 1994. La qualité des systèmes écologiques: Le point de vue de l'écologue. *Etudes et Recherches du SAD*, 28: 159–165.
- Balent, G. & Courtiade, B., 1992. Modelling bird communities/landscape patterns relationships in a rural area of south-western France. *Landscape Ecology*, 6 (3): 195–211..
- Balent, G., Génard, M. and Lescourret, F. 1988. Analyse des patrons de répartition des oiseaux nicheurs en Midi-Pyrénées. *Acta Oecologica Oecol. Gener.*, 9: 247–263.
- Blake, J.G., 1991. Nested subsets and the distribution of birds on isolated woodlots. *Conservation Biology*, 5 (1): 58–66.
- Chapin, F.S., Schulze, E.D. & Mooney, H.A., 1992. Biodiversity and Ecosystem Processes. *Trends in Ecology and Evolution.*, 7 (4): 382–387.
- Curry, G.N., 1991. The influence of proximity to plantation edge on diversity and abundance of bird species in an exotic pine plantation in north eastern New South Wales. *Wildlife Research*, 18 (3): 299–314.
- Dabrowska-Prot, E., 1991. The role of forest islands in the shaping of the structure and functioning of the entomofauna in an agricultural landscape. *Ekologia Polska*, 39: 481–516.
- Di Castri, F. & Younes, T., 1990. Fonction de la Diversité Biologique au sein de l'Ecosystème. *Acta Oecologica*, 11 (3): 430–444.
- Ehrenfeld, D., 1988. Why put a value on biodiversity ? In « *Biodiversity* », Wilson & Peter (Eds), National Academy Press, Washington: 212–216.
- Ferry, C. & Frochot, B. 1990. Bird communities of the forests of Burgundy and the Jura. In « *Biogeography and ecology of forest bird communities* », Keast (Ed), SPB Acad. Publishers: 183–195.
- Forman, R., Galli, A.E. & Leck, C.F., 1976. Forest size and avian diversity in new jersey woodlots with some land use implications. *Oecologia (Berlin)*, 26: 1–8.
- Franklin, J.F. 1988. Structural and functional diversity in temperate forests. In « *Biodiversity* », Wilson & Peters (Eds), Nat. Acad. Press, Washington DC: 166–175.
- Franklin, J.F. & Forman, T.T. 1987. Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles. *Landscape Ecology*, 1: 5–18.
- Freemark, K.E. & Merriam, H.G., 1986. Importance of area and habitat heterogeneity to bird assemblages in temperate forest fragments. *Biological conservation*, 36: 115–141.
- Fuller, R.J., 1992. Effects of coppice management on woodland breeding birds. In « *Ecology and management of coppice woodlands* », Buckley 'Ed.), Chapman & Hall, London: 169–192.
- Fuller, R.J. & Warren, M.S. 1991. Conservation in ancient and modern woodlands responses of fauna to edges and rotations. In « *The scientific management of temperate communities for conservation* », Spellerberg, Goldsmith & Morris (Eds), 31st Symp. BES, Blackwell, Oxford: 445–471.

- Harms, B.W. & Opdam, P., 1990. Woods as Habitat Patches for Birds : Application in Landscape Planning in the Netherlands. In « *Changing landscapes : ecological perspective* », Zonneveld & Forman (Eds), Springer-Verlag, Berlin: 73-97.
- Harris, L.D. & Silva-Lopez, G., 1992. Forest fragmentation and the conservation of biological diversity. *Conservation Biology: Theory and practice of nature conservation, preservation and management*: 197-237.
- Hobbs, J.R. & Huenneke L.F., 1992. Disturbance, Diversity, and Invasion : Implications for Conservation. *Conservation Biology*, 6 (3): 324-337.
- Kirby, K.J., 1992. Accumulation of dead wood - A missing ingredient in coppicing? . In « *Ecology and Management of Coppice Woodlands* », Buckley (Ed), Chapman & Hall: 99-112
- Joachim, J. 1995. Le pinson (*Fringilla coelebs*) espèce modèle pour l'étude de la fragmentation des paysages forestiers du Grand Sud-Ouest. In « *La forêt paysanne, un outil d'aménagement de l'espace rural* », Balent (Ed), Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, 30 : (en préparation).
- Lauga, J., 1989. Le morcellement de la forêt dans la moyenne vallée de la Garonne : caractères et conséquences. *R.G.P.S.O.*, 60: 591-601.
- Lauga, J. & Joachim, J., 1992. Modelling the effects of forest fragmentation on certain species of forest-breeding birds. *Landscape Ecology*, 6, (3): 183-193.
- Laurence, W.F. & Yensen, E., 1991. Predicting the impact of edge effects in fragmented habitats. *Biological Conservation*, 55 (1): 77-92.
- Lemouzy, C., 1993. *Relations entre biodiversité et morcellement de la forêt paysanne: l'exemple des coteaux de Gascogne*. Mémoire de Fin d'Etudes, ENSA Rennes, INRA-SAD Toulouse: 62 pages.
- Lynch, J.F. & Whigham, D.F., 1984. Effects of forest fragmentation on breeding bird communities in Maryland, USA. *Biological Conservation*, 28: 287-324.
- MacArthur, R.H. and Wilson, E.O. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton, New Jersey. Princeton University Press: 203 pages.
- Milne, B.T., 1992. Lessons from applying fractal models to landscape patterns. In « *Quantitative methods in landscape ecology* », Turner & Gardner (Eds), Springer Verlag: 199-235.
- Norton, B.G. & Ulanowicz, R.E., 1992. Scale and Biodiversity Policy : A Hierarchical Approach. *Ambio*, 21 (3): 345-354.
- Noss, R.D., 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity : A Hierarchical Approach. *Conservation Biology*, 4 (4): 355-364.
- Opdam, P., 1990. Dispersal in a fragmented population: The key to survival. In « *Species dispersal in agricultural habitats* », Bunce & Howard (Eds), Institute of Terrestrial Ecology: 3-17.
- Opdam, P., 1991. Metapopulation theory and habitat fragmentation : a review of holarctic breeding bird studies. *Landscape Ecology*, 5 (2): 93-106.
- Opdam, P., Rijdsdijk G. & Hustings F., 1985. Bird Communities in small woods in an agricultural landscape : Effects of area and isolation. *Biological Conservation*, 34: 333-352.
- Opdam, P., Van Apeldoorn, R., Schotman A. & Kalkhoven, J., 1993. Population responses to landscape fragmentation. In « *Landscape Ecology of a Stressed Environment* », Vos & Opdam (Eds), Chapman and Hall, London: 147-171.
- Paoletti, M.G., Pimentel, D., Stinner, B.R. & Stinner, D., 1992. Agroecosystem biodiversity : matching production and conservation biology. In « *Biotic diversity in agroecosystems* », Paoletti & Pimentel (Eds), Elsevier, Amsterdam: 3-18.
- Pimentel, D. et al, 1992. Conserving Biological Diversity in Agricultural/Forestry Systems. *Bioscience*, 42 (5): 428-436.
- Robbins, C.S., Dawson, D.K. & Dowell, B.A., 1989. Habitat area requirements of breeding birds of the middle atlantic states. *Wildlife Monographs*, 103: 1-34.
- Robinson, G.R. & Quinn, J.F., 1992. Habitat fragmentation, species diversity, extinction, and design of nature reserves. *Applied Population Biology*, 67: 223-248.
- Saunders, D.A., Hobbs, R.J. & Margules, C.R., 1991. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation : a review. *Conservation Biology*, 5 (1): 18-28.
- Whitcomb, R.F. et al., 1981. Effects of forest fragmentation on avifauna of the eastern deciduous forest. In « *Forest island dynamics in man dominated landscapes* », Burgess & Sharpe (Eds), Springer-Verlag, New York: 125-205.

Boisements spontanés feuillus en montagne : dynamique et gestion

Jean-Jacques Brun

Cemagref, groupement de Grenoble
Division Environnement naturel et paysage
BP 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex
Tél. 76 76 27 27 – Fax 76 51 38 03

1 – Problématique générale

La déprise agro-pastorale, accentuée depuis le début du XX^e siècle, entraîne la recolonisation par la végétation naturelle des espaces montagnards abandonnés par l'agriculture. L'évolution spontanée de la végétation sur ces parcelles aboutit en quelques décennies à la constitution de véritables boisements. La transformation des paysages de montagne constatée aujourd'hui est pour une large part la conséquence visuelle d'une telle évolution. Dans ce contexte, agriculteurs et forestiers sont incités par endroits à évoluer dans leurs pratiques pour prendre en compte, de façon extensive, les secteurs en friches dans leurs dimensions environnementale, patrimoniale et paysagère.

Les questions posées à la recherche par la société sont nombreuses parmi elles :

- quelles sont les modalités de cette reforestation, peut-on prévoir les vitesses d'évolution ?
- quelles sont les conséquences pour la prévention des risques naturels et la gestion de la biodiversité et des paysages ?
- quelles possibilités de valorisation ?

Pour les chercheurs la reformulation de ces demandes sociales nourrissent différentes interrogations au niveau scientifique :

- comment étudier la dynamique d'écosystèmes issus de l'abandon culturel ?
- comment évaluer le rôle des perturbations d'origine anthropique sur la diversité biologique, puis les conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes à différentes échelles d'espace et de temps ?
- comment comprendre et tirer parti des dynamiques naturelles pour favoriser la diversité et la stabilité des systèmes écologiques en montagne ?

Définitions

Pour le gestionnaire et l'aménageur de l'espace rural, les forêts feuillues post-culturelles sont considérées comme des friches : espace naturel soustrait à la pression humaine, étape transitoire entre un espace agricole productif et une forêt (BONNAUD, 1993).

Pour l'Inventaire Forestier National, ces boisements sont classés dans la catégorie des accrus et formations composites "type de transition développé à partir de points d'appui et constitués par des haies ou de petits bosquets" (IFN, 1986).

Pour le phytoécologue, il s'agit de formations caducifoliées composées d'espèces pionnières et post-pionnières ou nomades (RAMEAU, 1987). En montagne, cette dynamique naturelle favorise actuellement l'apparition de formations caducifoliées composées d'espèces dites "post-pionnières" : le frêne (*Fraxinus*

excelsior), l'érable (*Acer pseudoplatanus*), et le merisier (*Prunus avium*). Ces essences feuillues, dont la qualité du bois est reconnue et très appréciée, sont appelés des "feuillus précieux" (THILL 1975).

Etudes et recherches

Il existe de nombreuses études sur les feuillus précieux que ce soient des études de stations forestières dans le nord-est de la France ou des expérimentations sur les plantations de feuillus précieux menées par la division Techniques Forestières au CEMAGREF de Clermont-Ferrand (GUITTON et al. 1990) et par l'INRA. Pourtant il n'existe pas grand chose sur les boisements spontanés de feuillus en particulier dans les Alpes. C'est pourquoi, au CEMAGREF, nous avons engagé une recherche-action structurée autour de deux thèmes complémentaires :

- d'une part, mieux connaître l'ampleur du phénomène par l'inventaire de la ressource dans les Alpes françaises et une meilleure connaissance des dynamiques de recolonisation (BOZON et al. 1994)
- d'autre part, fournir des éléments pour une valorisation sylvicole de ces peuplements spontanés à partir d'une démarche validée sur un site en moyenne Maurienne (BRUN et al. 1994).

2 – La dynamique des boisements spontanés feuillus

La reconquête par la végétation naturelle d'immenses territoires sous-utilisés ou abandonnés révèle de façon parfois spectaculaire, les potentialités dynamiques des milieux (exemple des vastes reconquêtes forestières feuillues au niveau du montagnard dans les Alpes). Elle ne signifie pas pour autant un retour à la forêt primitive, car l'homme a modifié parfois irrémédiablement un certain nombre de facteurs, notamment au niveau du sol, en améliorant pour son profit la fertilité naturelle des substrats utilisés. Ce sont donc, en quelque sorte, de nouveaux systèmes écologiques qui émergent de ces zones en déprise, constituant actuellement par leur diversité physiologique de véritables mosaïques paysagères.

Analyse des séquences de boisements

Les stades physiologiques forestiers fermés (denses) constitués de feuillus (*Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Prunus avium*) sont l'aboutissement provisoire, au pas de temps actuel, de successions végétales très raccourcies temporellement (moins de 20 ans), ceci lorsque les sols sont profonds et gorgés d'eau. Pourtant les pratiques agricoles et pastorales, en modifiant les teneurs en éléments fertilisants des sols ont changé la réceptivité des substrats vis-à-vis des semences d'origine ligneuses. Il est intéressant de constater (Delcros, 1993) que l'augmentation du rapport "éléments nutritifs sur humidité" favorise les stades pérennes de friches à épineux qui bloquent la recolonisation forestière. Ce phénomène de blocage, ou du moins de ralentissement advient lorsque les conditions édaphiques sont sèches (cas des fourrés à épineux) et même lorsqu'elles sont humides, impliquant la colonisation du milieu uniquement par des espèces strictement mésohygrophiles.

Analyse à l'échelle du paysage

Dans l'approche synchronique classique le support des études écologiques sur les successions végétales est une entité spatiale homogène isolée pour laquelle le phénomène de succession végétale représente un mécanisme interne de changement. Cette approche malgré l'éclairage primordial qu'elle apporte pour comprendre les dynamiques du tapis végétal est cependant insuffisante pour rendre compte de l'organisation spatiale observée dans les paysages et de son influence sur ces dynamiques.

Le développement de l'écologie du paysage, en privilégiant la prise en compte d'ensembles spatialement hétérogènes (écotones linéaires, taches spatialement dispersées assimilables à des écotones) a comblé cette lacune tout en ouvrant un immense chantier de réflexion écologique sur la définition, la signification et

l'utilisation de l'hétérogénéité spatio-temporelle. Très vite, il est apparu que l'hétérogénéité perçue était dépendante des échelles d'observation choisies, elles-mêmes dépendantes de la problématique posée et des finalités envisagées.

En fait, c'est l'apport de la théorie de la hiérarchie (Allen et Starr, 1982 – O'Neill et al, 1986) à l'écologie du paysage qui nous permet aujourd'hui de trouver le bon angle d'attaque pour aborder ces problèmes.

Une approche hiérarchique pour l'étude de la dynamique des systèmes écologiques montagnards

Pour traiter de problématiques écologiques touchant à la dynamique des boisements et aux changements d'utilisation des sols en montagne, il paraît indispensable d'utiliser une approche hiérarchique afin de structurer le site de recherche en niveaux d'organisation dits socio-écologiques puisque l'homme, en utilisant ces milieux naturels, les a façonnés, et en ensembles écologiques fonctionnels puisque l'homme, en abandonnant ces utilisations, crée une perturbation qui révèle de nouveaux fonctionnements écologiques. A partir de là, il ne reste plus qu'à préciser les échelles spatiales et temporelles pour nos observations (voir figure).

Pour les niveaux d'organisation socio-écologiques, nous retenons :

- *L'adret (ensemble de la commune),*
- *L'étage (tranche altitudinale et ensemble de pratiques agro-pastorales),*
- *La parcelle (unité élémentaire du cadastre),*
- *La placette (surface élémentaire d'échantillonnage).*

Pour les ensembles écologiques fonctionnels, nous retenons :

- *Les systèmes géopédologiques (Barthes et Bornand, 1986),*
- *Les éco-complexes (Blandin et Lamotte, 1988),*
- *Les écosystèmes (Lamotte et Duvigneaud, 1990),*
- *Les éco-unités (Oldeman, 1990).*

Pour les échelles spatiales d'observation du paysage, nous utilisons :

- *Les images satellites (résolution = 40 m),*
- *Les photos aériennes agrandies (résolution = 5 m),*
- *Les cartes physionomiques issues de photo-interprétations (résolution supérieure ou égale à un mètre),*
- *La placette pour les relevés au sol (résolution variable, mais > 1 cm),*
- *Le profil de sol et les lames minces d'humus (résolution variant jusqu'au micron).*

Pour les échelles temporelles d'observation, nous utilisons :

- *Le cadastre sarde de 1732,*
- *La périodicité des passages aériens des missions IGN depuis 1939.*

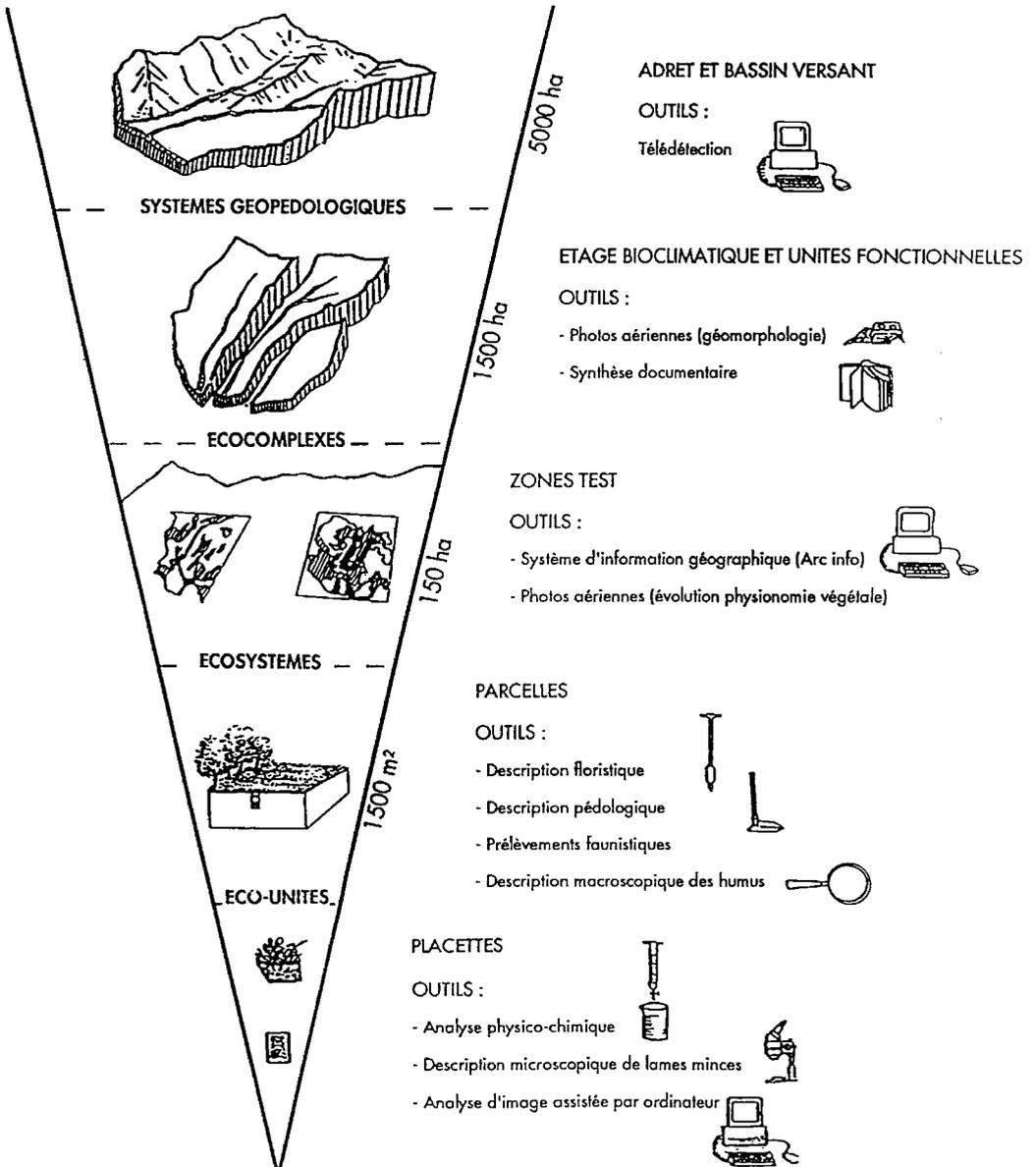
Les variations d'échelle temporelle sont introduites par le biais des états morphodynamiques de rhexistase, hétérostase et biostase, complétés par les termes d'instabilité, pénestabilité et stabilité. La première trilogie sera utilisée pour désigner les interactions sol-plantes inscrites dans les processus pédogénétiques à une échelle de temps pluriséculaire (qui ne nous intéresse pas directement ici), la deuxième pour désigner la dynamique actuelle, à une échelle pluridécennale (Rovera, 1990).

Pour l'échantillonnage de l'information écologique au niveau du terrain

Nous réalisons des relevés phytoécologiques. et nous pratiquons des échantillonnages orientés ou stratifiés :

- *Orientés, dans le cas d'une utilisation, comme au montagnard, du système d'information géographique (Arc-info) pour orienter les échantillonnages sur des parcelles ayant été abandonnées à la même époque*

Une approche hiérarchique pour l'étude de la dynamique des systèmes écologiques montagnards



mais également pour échantillonner (plantes et humus) sur des parcelles ayant acquis à des vitesses différentes les mêmes stades physionomiques de végétation ligneuse.

– Stratifiés, comme au subalpin, car déterminé par la reconnaissance d'organisations géomorphologiques structurant finement, à l'échelle des placettes d'observation, les écosystèmes.

Cette méthode de travail est étroitement associée à l'utilisation d'outils d'acquisition et de traitement de l'information spatiale :

– Dans le domaine de l'écologie du paysage : le SIG,

– Dans le domaine de l'écologie des sols : l'analyse d'images microscopiques pour étudier les biomorphostructures des humus.

3 – La gestion des boisements spontanés feuillus

En dépit d'une sensibilité réelle aux problèmes que créent les friches et les forêts qui en sont issues, la valorisation de la végétation spontanée reste une idée novatrice, risquée, donc propice au débat.

En montagne, la place de la forêt spontanée, envahissante, détermine les problématiques d'actions collectives et les démarches engagées, généralement favorables à l'intervention. Cette gestion planifiée dans l'espace et dans le temps repose sur une valorisation tant des friches agricoles que des formations sylvicoles spontanées issues d'un abandon plus ancien des cultures. Divers objectifs peuvent être envisagés selon les lieux ; sylviculture des feuillus, protection et conservation des espèces vivantes et de leurs biotopes, tourisme et loisirs liés à la nature. Mais de la lutte contre les friches à la valorisation de la forêt spontanée et privée il n'y a qu'un pas que de nombreux obstacles techniques, économiques et culturels ne permettent pas encore de réaliser.

Evaluation de la ressource

Par nos travaux, nous avons essayé d'évaluer la ressource en feuillus précieux, en la situant relativement aux autres essences, et en analysant sa répartition géographique.

Résultats nationaux

Sur 13,3 millions d'hectares de surface boisée sur le territoire français, les feuillus précieux ne sont prépondérants localement que sur 2,5 % de cette surface, ce qui est faible. Ce sont donc des essences disséminées dans les diverses formations boisées (HOULLIER & RITTIE 1992). Lorsqu'ils sont prépondérants, c'est surtout le frêne qui est représenté. Enfin, la répartition des trois espèces sur l'ensemble des départements français, montre une plus forte densité dans les départements du nord et de l'est de la France. Les Alpes du nord sont bien pourvues en feuillus précieux.

Résultats régionaux

A l'échelle des Alpes, nos recherches écologiques montrent que :

– Dans les Alpes externes (Bauges, Chablais) les feuillus sont présents dans tous les stades de la dynamique forestière (des stades initiaux aux stades matures).

– Dans les Alpes intermédiaires (Maurienne, Tarentaise) ils monopolisent, surtout en adret, les espaces abandonnés par l'agriculture.

– Dans les Alpes internes (Briançonnais) ils ont une présence marginale liée principalement à des situations édaphiques favorables sur le plan hydrique.

Grâce aux données statistiques de l'Inventaire Forestier National (IFN 1986), nous avons affiné le travail en analysant le degré de concentration locale de ces essences pour appréhender la ressource actuelle et sa répartition spatiale. Nous avons utilisé le nombre de tiges estimé par classes de diamètre, par types de peuplement, par régions forestières nationales. Les Alpes intermédiaires apparaissent comme les mieux

pourvues en feuillus issus de peuplements spontanés Les sources IFN indiquent que les surfaces concernées sont importantes (22 000 ha.)

Perspectives de valorisation

Rappelons qu'il s'agit avant tout d'aider les élus locaux ainsi que les propriétaires fonciers dans leurs choix de développement en apportant des éléments d'information sur une valorisation de la forêt spontanée. Ainsi, la considérer comme un patrimoine naturel, source d'identité pour la société locale est l'hypothèse de départ qui a permis d'envisager sa valorisation. L'idée est de mettre en phase un potentiel naturel et les attentes des sociétés locales, en intégrant cette valorisation aux différents projets de développement en cours de réalisation sur les mêmes espaces et dans le même temps. (BONNAUD, 1993).

Donner un statut forestier à d'anciennes terres agricoles suppose de réaliser à l'échelon communal des groupements forestiers associant les propriétaires des parcelles concernées, et implique que les institutions forestières (S.E.R.F.O.B., C.R.P.F.) et agricoles (Chambre d'agriculture, D.D.A.F) mènent des actions coordonnées en matière de gestion de l'espace, d'information et de formation auprès des propriétaires intéressés par la valorisation sylvicole des peuplements. Actuellement des actions de valorisations se mettent en place en particulier avec l'ONF en Savoie, l'expérience devrait être soutenue par un projet européen "LIFE". En fait, même si la rentabilité économique de ce type de projet est encore aléatoire il faut souligner tout les bénéfices environnementaux, largement compensatoires, liés à l'amélioration du cadre de vie et à la conservation de la biodiversité que ce type de d'action induira. De tels arguments rendent une valorisation très opportune à long terme.

Conclusion

La gestion patrimoniale des territoires de montagne doit s'appuyer sur une perspective à long terme des rapports entre société locale et environnement naturel. C'est pourquoi les interventions sur l'espace se doivent de piloter les dynamiques naturelles des systèmes écologiques en guidant les pratiques d'utilisation des sols. En montagne et dans les Alpes en particulier, la gestion des boisements spontanés ne peut se faire qu'à l'échelon local. Elle nécessite une concertation étroite entre tous les acteurs locaux et institutionnels pour réfléchir à un schéma d'aménagement intégrant les préoccupations économiques et écologiques.

Pour la recherche, friches et boisements spontanés resteront des objets scientifiques intéressants. Ceci pour la pratique de l'interdisciplinarité dans le champ de l'écologie tout d'abord mais au-delà, en permettant dans l'avenir une meilleure articulation des approches naturalistes et anthropologiques.

Bibliographie

ALLEN T.F.H. et STARR T.B. 1982 – Hierarchy : perspectives for ecological complexity. The university of Chicago Press Chicago and London. 310 p.

BARTHES J.P. et BORNAND J. 1987 – Cartographie des sols en moyenne montagne calcaire sèche ; une méthode d'approche possible. Agrométéorologie des régions de moyenne montagne, Toulouse 16-17 avril 1986 – INRA, Paris 1987 (Les colloques de l'INRA n° 39) pp. 95-106.

BRUN J.J., BONNAUD A., BOZON N. 1994 – La valorisation des forêts feuillues spontanées après l'abandon de l'agriculture dans la moyenne vallée de la Maurienne. Actes du Colloque Européen sur la Forêt de Montagne (AICEF-SNICEF), Grenoble, 12 p.

BOZON N , BRUN J.J., GROSSI J.L. 1994 – Distribution of hardwood deciduous trees in the french Alps – Multilevel approaches, *Ecologie*, 25 (2) : 111-118

- BLANDIN P. et LAMOTTE M. 1988 – Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'écocomplexe. *Bulletin d'Ecologie*, Tome 19, n° 4 , pp. 547–555.
- BONNAUD A. 1992 – Pourquoi et comment valoriser la forêt spontanée de moyenne Maurienne?, *Magistère Aménagement*, Paris I et Paris VIII, CEMAGREF Grenoble, 65 p.
- BONNAUD A. 1993 – L'exploitation des feuillus en moyenne Maurienne : une valorisation possible d'un patrimoine naturel pour le développement d'une zone de montagne en déclin, *DESS Aménagement, Magistère Aménagement*, Paris I et Paris VIII, CEMAGREF Grenoble, 207 p.
- BOZON N. 1989 – étude écologique des friches agricoles en moyenne Maurienne : description et quantification des processus de recolonisation par les ligneux sur le bassin versant de Saint–Martin–la–Porte, *DEA Géographie, écologie, Aménagement des montagnes*, Grenoble I, CEMAGREF Grenoble, 58 p.
- BOZON N., BRUN J.J. 1991 – Valorisation sylvicole des feuillus précieux. Biologie et valorisation des feuillus précieux dans les zones de déprise agricole, *Rapport AIP Zones fragiles*, CEMAGREF Grenoble, 41 p.
- CARRIER F. 1992 – Friches agricoles en montagne : défi ou résignation ? Prétypologie de friches ligneuses sur terrains agricoles abandonnés et propositions de gestion : exemple de l'adret de Saint–Michel–de–Maurienne (Savoie), *Mémoire BTSA Productions Forestières*, ENITEF, CEMAGREF Grenoble, 25 p.
- DELCROS Ph. 1993 – *écologie du paysage et dynamique végétale post–culturelle en zone de montagne*, Thèse d'Université, Grenoble I, CEMAGREF Grenoble, 263 p.
- GUITTON J.L., BRETIERE G., SAAR S. 1990 – Cultures d'arbres à bois précieux en prairies pâturées en moyenne montagne humide. Publications du CEMAGREF "Etudes–série Forêts n° 4, 92 p.
- HOUILLER F., RITTIÉ D. 1992 – Éléments sur la ressource en feuillus précieux, *Revue Forestière Française XLIV*(n° spécial) : 13–19.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL 1986 a – Département de la Savoie, résultats du deuxième inventaire, tome I, Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, DERF, Paris, 142 p.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL 1986 b – Département de la Savoie, résultats du deuxième inventaire, tome II, Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, DERF, Paris, 250 p.
- LAMOTTE M., et DUVIGNEAUD P. 1990 – Ecosystemes – In *Encyclopaedia Universalis Corpus 7* – pp. 898–906.
- OLDEMAN R.A.A. 1990 – *Forests : Elements of silvology* Springer – Verlag – Berlin Heidelberg, 624 p.
- O'NEILL, RV., DE ANGELIS D.L., WALDE J.B. et ALLEN T.F.H., 1986 – A hierarchical concept of ecosystem Princeton University, NJ. Press, 253 p.
- RAMEAU J.C. 1987 – *Contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers, application aux forêts du nord–est de la France*, Thèse d'état, Besançon I, 344 p.
- ROVERA G., 1990 – *Geomorphologie dynamique et aménagement des versants en Moyenne–Maurienne* – Thèse de Doctorat en géographie aménagement – Université Joseph Fourier Grenoble I– 465 p.
- THILL A. 1975 – Contribution à l'étude du frêne, de l'érable sycomore et du merisier (*Fraxinus excelsior* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Prunus avium* L.), *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique* 82(1) : 1–12

Externalités et forêt

Utilités de la forêt autres que la production de matière première : problématique économique

Dominique Normandin

INRA – Unité d'Économie et de sociologie rurales
14, rue Girardet, 54000 Nancy
Tél. 83 35 43 06 – Fax 83 37 06 45

On sait que les espaces boisés peuvent procurer de nombreux autres biens et services que la seule matière ligneuse utilisable comme matériau ou à des fins énergétiques. Dans le cadre de la forêt paysanne qui nous intéresse ici les surfaces boisées peuvent ainsi fournir divers produits dont le prélèvement, pour la commercialisation ou l'autoconsommation, est utile au ménage ou à l'exploitation agricole. Il peut s'agir de "menus produits" consommables liés à l'écosystème forestier (champignons, baies, ...). Il peut s'agir aussi de parties de l'arbre (fruits, branches, feuilles, ...) utilisables soit pour la vente (décoration, parfumerie par exemple), soit dans le cadre de l'activité agricole (nourriture, litière des animaux, paillage des cultures). Par leur seule présence, les formations boisées peuvent enfin avoir certaines influences bénéfiques sur la production agricole elle-même. C'est notamment le cas des haies, des alignements ou des bosquets qui protègent les cultures, servent d'abri aux animaux, réduisent les risques d'érosion ou régularisent l'écoulement des eaux.

Lorsque ces biens et services sont fournis par des surfaces boisées dont l'agriculteur a la maîtrise de la gestion la question de leur production se situe à un niveau micro-économique. Les arbitrages que réalise l'exploitant dans la gestion des surfaces boisées et l'utilisation des biens et services résultent de l'estimation qu'il fait des avantages que ceux-ci lui procurent en fonction du niveau d'information dont il dispose d'une part, des charges que leur production lui occasionne d'autre part. Sauf pour les usages propres à l'activité agricole, un tel arbitrage est d'ailleurs également applicable à d'autres catégories de propriétaires ou gestionnaires forestiers.

Mais très souvent les espaces boisés ont des effets qui dépassent largement les limites de la propriété forestière qui leur donne naissance. Les surfaces boisées prennent alors la dimension de biens (*I*) d'environnement ou d'actifs "naturels" utiles à la société dans son ensemble. C'est dans ce cadre que se place cette note qui se propose d'abord de rappeler quelques éléments théoriques d'analyse économique en la matière. Elle vise ensuite à replacer dans ce cadre les services environnementaux fournis par les espaces boisés et les problèmes que posent leur valorisation et leur rémunération. Elle examine enfin les modalités actuelles de prise en compte de ces services par la société et envisage les effets de leur éventuelle rémunération sur un développement de la forêt paysanne.

I- ELEMENTS D'ANALYSE ECONOMIQUE DES BIENS D'ENVIRONNEMENT

L'économie de l'environnement est une branche encore récente de l'économie qui a cependant connu des progrès théoriques et empiriques sensibles au cours des dix dernières années. Deux concepts sont à la base de l'analyse économique des biens environnementaux : les externalités d'une part, les biens publics d'autre part.

I - Le terme de "bien" est employé ici aussi bien pour désigner des biens matériels que des services.

Une **externalité** se définit comme l'influence qu'a l'activité de consommation ou de production d'un agent (qualifié "d'émetteur") sur la satisfaction d'autres agents (qualifiés de "récepteurs"), sans que le marché évalue et fasse payer ou rétribue l'agent émetteur pour cette interaction. Celle-ci est alors externe au marché. On distingue traditionnellement quatre types d'externalités selon la nature de l'activité économique qui leur donne naissance et selon qu'elles se traduisent par un bénéfice ou par un inconvénient pour les agents récepteurs.

Les externalités négatives de production sont probablement les plus connues (et les plus étudiées). On est ici dans le cas où des activités d'entreprises nuisent sans compensation financière à d'autres agents. C'est en particulier le domaine des pollutions, qu'elles soient d'origine industrielle ou agricole, et dont les effets peuvent être néfastes soit pour d'autres entreprises (pêcheurs professionnels par exemple) soit pour des consommateurs (pêche de loisir, baignade, eau domestique, ...).

Des externalités négatives de consommation proviennent de gênes ou de nuisances procurées à des agents par les activités des consommateurs. L'exemple classique en est la pollution de l'air ou de l'eau résultant des activités des ménages (automobile, eaux domestiques usées).

Il y a apparition d'externalités positives de production lorsque des agents bénéficient de services résultant des activités d'une entreprise. L'illustration classique est celle de l'apiculteur et de l'arboriculteur : les abeilles butinent les fleurs du verger ce qui contribue à la production de miel sans que le propriétaire du verger soit rétribué pour cet avantage. Dans ce cas on a d'ailleurs une externalité positive de production réciproque puisque les abeilles fécondent les fleurs sans que l'apiculteur perçoive une rémunération pour cela. Le récepteur de l'externalité peut être une autre entreprise, mais aussi un consommateur. Ainsi, l'activité de production agricole façonne des paysages dont l'attrait bénéficie à l'ensemble des individus qui les parcourent.

Enfin des externalités positives de consommation s'observent lorsque des activités déployées dans le cadre de la vie domestique (ménage) ont des effets bénéfiques pour d'autres agents. C'est le cas quand une décoration extérieure des habitations procure un paysage agréable. C'est le cas surtout quand la satisfaction liée à l'usage d'un bien de consommation dépend du nombre de consommateurs qui en disposent également (réseau téléphonique).

C'est dans ces deux derniers cadres que s'analysent généralement les externalités forestières. Lorsque la gestion des espaces boisés relève clairement d'une entreprise on est dans le cadre d'externalités positives de production. C'est le cas de la forêt publique dont la gestion est assurée par l'Office National des Forêts. Cela pourrait être aussi la situation d'une forêt agricole étroitement rattachée à l'exploitation. Dans la mesure où l'on peut considérer que les activités de gestion en forêt privée relèvent souvent d'une logique de ménage (objectif d'autoconsommation ou d'épargne et de transmission aux héritiers), on se situe, au moins partiellement, dans le cadre d'externalités positives de consommation.

En règle générale les externalités, quelle que soit leur nature, ont pour caractéristique d'être produites de façon non intentionnelle par les agents émetteurs. Elles constituent ainsi un produit joint de la production ou de la consommation intentionnelle d'une autre bien. On considère à l'heure actuelle que les biens d'environnement s'analysent comme des externalités positives, c'est-à-dire que l'on admet qu'ils procurent des bénéfices à la société. Cela résulte essentiellement de l'industrialisation, de la mécanisation et de l'urbanisation croissante de notre société, et des externalités négatives qu'elles créent. Encore faut-il définir précisément ce que

l'on entend par bien d'environnement, et souligner qu'un état spontané de la nature ne procure pas nécessairement des bénéfices à la collectivité. Ainsi une zone marécageuse peut être la source de nuisances graves (cas par exemple des Landes de Gascogne avant leur boisement).

Les biens d'environnement ont par ailleurs un caractère de **biens publics**, c'est-à-dire que plusieurs individus, voire tous les membres de la société, peuvent en bénéficier simultanément et que leur usage par un individu n'empêche pas d'autres individus d'en profiter également. Ils s'opposent en cela aux biens privés qui répondent au principe de rivalité : deux agents ne peuvent bénéficier simultanément (ils sont rivaux) de l'usage d'un même bien (cas des biens manufacturés par exemple). La défense, la justice, l'éducation nationale ou le réseau routier sont des exemples caractéristiques de biens publics. En matière de biens d'environnement, le paysage est le prototype d'un bien public.

La théorie consacre en outre une distinction dans les biens publics selon qu'ils satisfont ou non trois conditions : l'impossibilité d'exclusion, l'obligation d'usage et l'absence d'effets d'encombrement. Lorsque ces trois conditions sont remplies, on est en présence d'un bien public pur dont un exemple est la défense nationale. Si l'une ou l'autre des conditions n'est pas satisfaite on parle de bien public mixte. Enfin, un bien public peut concerner un nombre limité d'individus ou au contraire la totalité de la collectivité nationale voire internationale. Dans de nombreux cas les biens d'environnement ont un caractère de biens publics purs. De plus ils concernent souvent une vaste collectivité.

Cette double dimension d'externalités et de biens publics des biens environnementaux rend leur gestion et leur préservation particulièrement délicate. En tant qu'externalités ils constituent, par définition, des biens non-marchands. En l'absence d'un indicateur de valeur (le prix) et donc de rareté, il existe une différence de traitement entre ces biens et les biens marchands. Cela conduit notamment les agents économiques à leur attribuer implicitement un prix nul. Les agents susceptibles de les produire, n'étant pas rémunérés, ne sont alors pas incités à le faire. Les activités entraînant une dégradation de ces biens (dont les bénéfices apparaissent souvent diffus, lointains et difficilement cernables dans leur globalité) sont difficilement régulables. Il en résulte des distorsions entre le coût et le bénéfice privé d'une part, le coût et le bénéfice social d'autre part (Cf. graphe 1). En outre, le fait qu'il s'agisse de biens publics rend malaisée la caractérisation précise de leur demande, et notamment une identification claire de leurs bénéficiaires.

Bien que n'ayant pas de prix, les biens environnementaux présentent cependant une (des) valeur(s) pour la société, comme en attestent les diverses mesures prises pour les préserver. Selon la nature du bien d'environnement considéré et les objectifs que l'on prête à ses bénéficiaires, la théorie économique distingue différentes catégories de valeurs. Lorsque le bien d'environnement se prête à la consommation par les individus et que ceux-ci en ont une utilisation concrète (cas de la promenade ou de l'observation d'un paysage) on parle de valeur d'usage. Celle-ci correspond sensiblement à la valeur que l'on accorde généralement à des biens marchands. Mais les biens d'environnement revêtent aussi des valeurs qui ne sont pas liées à une utilisation concrète et immédiate. On parle alors de valeurs de non-usage parmi lesquelles on distingue : la valeur d'option (préservation du bien pour une éventuelle utilisation personnelle future), la valeur de legs (préservation du bien pour une transmission aux générations futures) et la valeur d'existence (préservation du bien pour lui-même). Un même bien environnemental correspond en général à plusieurs de ces types de valeurs. D'autre part, il est bien évident que ces "valeurs", notamment celles ayant trait à un non-usage, ont une forte dimension éthique.

En l'absence de prix, la régulation de la production de services environnementaux ou celle de la protection de biens d'environnement s'effectue le plus souvent par voie réglementaire. La double dimension d'externalités et de biens publics implique en effet une intervention de la puissance publique. Elle peut être réalisée avec des instruments politiques : il s'agit de quotas arbitraires portant sur des quantités produites ou d'interdictions de certains usages. La régulation peut aussi utiliser des instruments économiques. C'est le cas du principe de type "pollueur-payeur" : les quantités de déchets ne sont pas définies, mais l'émetteur de l'externalité négative doit payer pour les dommages occasionnés selon une taxation établie par l'Etat. C'est le cas aussi lorsque la régulation consiste en l'établissement de droits de propriété sur des biens jusque là non appropriés : établissement de droits à polluer ou mise en oeuvre de marchés de contrats négociables. Quelle que soit la formule utilisée, la régulation, pour être socialement efficace, suppose que l'on puisse estimer les bénéfices nets que la société en retire. On est alors conduit à tenter des évaluations monétaires des biens d'environnement.

Plusieurs méthodes sont utilisables à cette fin. Elles se partagent en deux grands groupes selon que l'on peut ou non observer un comportement des acteurs par rapport au bien d'environnement. Lorsqu'un comportement des utilisateurs est observable, on a recours à des méthodes d'évaluation indirecte : coûts de transport (cas d'une activité de loisir), dépenses de protection (cas de l'épuration des eaux), prix hédonistes (cas du paysage). Lorsque aucun comportement ne peut être observé (cas des valeurs de non-usage) on utilise une méthode d'évaluation directe (enquête auprès d'un échantillon bien choisi d'individus pour estimer la valeur qu'ils accordent au bien d'environnement, leur "disposition à payer") : l'évaluation contingente.

Encore faut-il dans tous les cas, caractériser très précisément le bien environnemental concerné, mesurer les services qu'il procure, leur variation selon la gestion pratiquée, identifier les agents intéressés et les types de valeurs qu'ils lui attribuent.

II - SERVICES ENVIRONNEMENTAUX FOURNIS PAR LES ESPACES BOISES

On considère en général que les espaces boisés sont générateurs d'externalités positives, c'est-à-dire qu'ils offrent à la société des bénéfices ou des satisfactions (qu'ils accroissent le "bien-être"). Relevons cependant que les espaces boisés peuvent parfois engendrer des externalités négatives. C'est le cas par exemple lorsque le gibier trouvant refuge en forêt provoque des dommages aux cultures voisines. C'est le cas aussi en matière d'utilisation du territoire lorsque l'extension non maîtrisée des surfaces boisées, suite au recul de l'activité agricole, entraîne des perturbations sur d'autres activités de production ou de consommation. Ce phénomène a été en particulier observé en moyenne montagne au cours des années 1950/1970. La réalisation de nombreux boisements "anarchiques" a ainsi entraîné des externalités négatives de type paysager (fermeture des paysages de fond de vallée), de type foncier (blocage des structures foncières et frein à la restructuration des exploitations agricoles restantes) et de type fiscal (exonération d'impôt foncier sur les surfaces boisées et manque à gagner pour les budgets communaux ou report sur d'autres catégories de sols). Cette externalité négative de la forêt a d'ailleurs entraîné une régulation de type réglementaire : le zonage agriculture/forêt.

L'analyse économique des services non marchands offerts par les forêts ou des bénéfices environnementaux des espaces boisés semble devoir être sous-tendue, dans le contexte économique et social français d'aujourd'hui, par trois hypothèses de travail.

Par rapport à d'autres modes d'occupation du territoire ou d'autres écosystèmes (cas des zones humides par exemple qui sont l'un des écosystèmes ayant le plus fait l'objet d'attention à ce jour), la question n'est pas globalement celle de la sauvegarde des espaces boisés. Les surfaces boisées ne constituent pas aujourd'hui en France un bien "rare" dont il faut empêcher la disparition. Elles sont en extension et d'ailleurs assez bien protégées réglementairement (2). Du point de vue de l'espace, la question est plutôt celle de leur répartition "harmonieuse" dans le territoire.

Par rapport à d'autres pratiques productives (agriculture), la gestion forestière telle qu'elle est le plus souvent pratiquée n'est que rarement productrice d'externalités négatives "majeures". Même dans des cas de sylviculture relativement "intensive", les espaces boisés constituent souvent des milieux plus "riches" ou plus "naturels" que la plupart des milieux qui les entourent. La question n'est alors pas fondamentalement de limiter la production de biens marchands pour réduire des dégradations de l'environnement, mais d'infléchir la gestion pour optimiser la production de services non marchands (ce qui est sensiblement plus délicat). Cela nécessite évidemment de disposer de références techniques sur les relations entre les pratiques de gestion forestière (les sylvicultures conduites) et les quantités et qualités des divers services environnementaux potentiellement offerts par les espaces boisés.

Un troisième point qui semble assez particulier à l'analyse économique des services environnementaux des espaces boisés, est celui du très long terme dans lequel s'inscrit la production forestière. L'obtention d'un bien marchand (le bois) est, du fait de cet horizon très long, marquée par une forte incertitude et des risques importants. Les comportements des acteurs de la gestion sont d'ailleurs très influencés par cette contrainte. Dès lors, s'il est relativement facile de mesurer dans des activités productives de court terme (agriculture, industrie) ce que le souci de préservation de l'environnement entraîne comme perte de production marchande, cela est beaucoup plus délicat en matière forestière. On admet ainsi parfois qu'une gestion forestière "écologique" peut contribuer à l'amélioration de la production de bois, en particulier par la réduction de certains risques (3).

Il ne s'agit pas ici de dresser un bilan exhaustif des différents services non marchands procurés par les espaces boisés. L'objet est surtout de fournir quelques réflexions sur les problèmes que posent leur valorisation monétaire et les moyens de leur rémunération aux producteurs. On distingue traditionnellement deux grands types d'externalités positives de la forêt. Il s'agit d'une part de ses effets "écologiques" : protection des sols contre l'érosion, effets sur le régime et la qualité des eaux, effets sur la qualité de l'air et les vents, effets sur la préservation d'une faune et flore diversifiées (biodiversité), rôle dans la fixation du carbone atmosphérique. Il s'agit d'autre part de ses influences sur le "cadre de vie" (les "aménités" de B. de Jouvenel) : aspects récréatifs, éléments du paysage, protection contre les nuisances (bruit). En fait, une telle distinction est relativement arbitraire, dans la mesure où un même espace boisé fournit simultanément plusieurs de ces services (dans une composition et à des degrés divers).

2 - Du moins lorsqu'il s'agit de massifs boisés d'une certaine importance (> 4 ha). Dans le cas contraire, il n'existe pas de limitation au déboisement qui est alors soumis à l'intérêt économique marchand. C'est ainsi que les formations boisées de petites tailles (alignements, haies, bosquets) ont connu une forte diminution.

3 Cf. Office National des Forêts : Prise en compte de la diversité biologique dans l'aménagement et la gestion forestière - Instruction, 18 p., Guide, 32 p..

Un premier problème qui se pose à l'analyse économique des externalités positives des espaces boisés est de distinguer celles qui correspondent à une valeur d'usage et celles qui relèvent de valeurs de non-usage. Les services d'aménités présentent essentiellement des valeurs d'usage. Leur valorisation monétaire en est rendue plus aisée : plusieurs méthodes applicables, dimension moins "éthique" parce qu'ils sont l'objet d'une consommation immédiate (même si leur mesure peut souvent paraître plus subjective que celle des effets écologiques). Les effets écologiques sont sensiblement plus complexes à analyser. Dans certains cas (protection contre l'érosion, lutte contre la pollution) ils revêtent clairement une valeur d'usage. Mais ils présentent aussi de fortes valeurs de non usage. Ainsi en est-il, notamment, de la biodiversité qui, en tant que telle, correspond essentiellement à des valeurs de legs ou d'existence.

Un deuxième problème qui se pose est celui de la détermination de l'échelle d'analyse, c'est-à-dire de l'identification précise des producteurs, mais surtout de celle des récepteurs de l'externalité. Les externalités positives des espaces boisés peuvent être envisagées le plus souvent à plusieurs niveaux : local, régional, national, international. Les récepteurs intéressés et les valeurs correspondantes sont alors variables (groupe restreint, nation, ... ; usage, non-usage). Dans certains cas l'appréhension des effets externes des forêts n'a d'ailleurs de sens qu'à une échelle très vaste (effet de serre).

Un troisième problème est celui de la connaissance des mécanismes physiques en cause. Elle est pour le moment encore limitée. Il importe pourtant de disposer de tels éléments, en particulier de pouvoir établir des relations entre les types de gestion forestière pratiqués, la production de matière ligneuse et la production d'externalités. D'une part pour pouvoir présenter aux agents intéressés des scénarios précis leur permettant d'exprimer clairement leurs choix. D'autre part en raison d'un problème d'information : la disposition à payer de la société peut être en effet très variable selon l'état d'information (et de médiatisation) des problèmes (cas des boisements en résineux ou en peupliers par exemple).

Ces divers problèmes, qui restent pour le moment largement des questions de recherche, conditionnent aussi bien la valeur que l'on peut attribuer aux services environnementaux des espaces boisés que les formes de contribution de la demande sociale et de rétribution des producteurs (fiscalité générale ou locale et établissement de contrats, création de marchés indirects, ...).

Un bilan en termes physiques des effets externes des espaces boisés est actuellement impossible à établir. Une approche partielle peut cependant être tentée à partir de l'inventaire des ZNIEFF(4) (Cf. graphe 2). Pour différents modes d'occupation du sol (agriculture, forêts, landes, ...) on compare la proportion de chacun d'eux dans les surfaces inventoriées d'intérêt écologique d'une part, dans l'ensemble du territoire national d'autre part. Sur la base de ce critère, l'"intérêt écologique" des forêts françaises serait proportionnellement 20 fois plus faible que celui des zones humides, 2 fois plus faible que celui des landes ou des pelouses sèches, mais 25 fois plus élevé que celui des terres agricoles. Compte tenu cependant des importances respectives de ces diverses catégories de sol dans le territoire national, ce seraient les espaces forestiers qui, globalement, présenteraient l'intérêt écologique le plus élevé (sous réserve d'exhaustivité de l'inventaire).

Les estimations de la valeur des services non-marchands des espaces boisés ou de la valeur globale des forêts restent encore extrêmement fragmentaires. Elles ne se sont quelque

4 - Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique

peu développées qu'au cours des années 1980, essentiellement dans les pays scandinaves, aux USA et en Grande-Bretagne (Cf. tableau I) (5). Ce sont d'abord les valeurs récréatives (donnant lieu à un usage) qui ont été étudiées. Des éléments concernant la biodiversité (valeur de non-usage mais caractérisation très précise non nécessaire) commencent également à être obtenus. Les résultats sont cependant encore très hétérogènes et leurs paramètres de variation relativement aux différences de composition et de gestion des espaces boisés peu connus.

III - MODALITES ACTUELLES DE PRISE EN COMPTE PAR LA SOCIETE DES SERVICES ENVIRONNEMENTAUX DES ESPACES BOISES

Jusqu'ici la régulation des services environnementaux des espaces boisés a été réalisée essentiellement par voie réglementaire. Il peut s'agir de dispositions spécifiques aux espaces boisés telles que le classement en forêt de protection. Il peut s'agir aussi de dispositions à caractère plus général pouvant éventuellement porter sur des zones boisées : espaces boisés classés dans le cadre de plans d'occupation des sols, arrêtés de biotope, zones sensibles par exemple.

Lorsque les espaces boisés assurent une protection contre des risques naturels majeurs la prise en charge de leur installation et de leur gestion est le plus souvent assurée par des acteurs publics. Cela a été le cas autrefois avec la restauration des terrains en montagne (RTM). C'est le cas aujourd'hui en ce qui concerne les forêts de protection littorales. Ces forêts, de propriété domaniale, sont gérées par l'ONF dans le cadre d'une convention Etat/ONF. C'est donc une action financée par le budget de l'Etat. La prise en compte d'autres services non-marchands des espaces boisés est également souvent assurée dans ce cadre (cas des aménagements récréatifs en forêt publique, cas d'une gestion "écologique" de la part de l'ONF).

Pour ce qui concerne l'essentiel de la forêt française, c'est-à-dire la forêt privée, il n'existe actuellement pas de "contrat" vraiment spécifique par lequel on viserait à favoriser une gestion forestière productrice de plus de services environnementaux, c'est-à-dire à rémunérer explicitement une production de services environnementaux. Certes, quelques tentatives d'ouverture contractuelle des forêts au public ont été faites, mais elles sont restées très marginales. Par ailleurs, certaines mesures de politique forestière "classique" peuvent être partiellement interprétées dans ce sens (par exemple orientations des conditions d'octroi des aides du FFN par exemple). Mais il ne s'agit pas de mesures ayant explicitement et uniquement pour objectif de rémunérer les fonctions non-marchandes des espaces boisés.

Dans ce contexte, les mesures agri-environnementales d'accompagnement de la réforme de la PAC constituent un élément nouveau. Elles s'inscrivent en effet dans une logique qui vise expressément à rémunérer des agents pour leur activité de production de services environnementaux. Les financements reposant sur des budgets publics (nationaux ou communautaires) ces mesures constituent, pour les externalités positives, le pendant du principe "pollueur-payeur".

L'examen du dispositif, qui s'adresse exclusivement aux agriculteurs, montre cependant que ces mesures ne concernent que relativement peu les formations boisées (Cf. tableau II). Lorsque celles-ci sont prises en compte, c'est le plus souvent en terme de formations boisées éparées ou linéaires, rarement en terme de massif boisé d'une certaine importance. Les

5 - Un recensement complet en est donné dans : OCDE - Evaluation des projets et politiques : intégrer l'économie et l'environnement. Documents OCDE, Paris, 1994, 444 p.

"contrats" proposés, notamment en matière de protection des eaux et de la faune et de la flore, ne reposent que très partiellement sur la conservation ou la constitution de formations boisées. Celles-ci entrent en concurrence avec d'autres modes d'utilisation du sol (herbages, jachères, ...) qui peuvent avoir la préférence des exploitants parce que plus conformes à leurs pratiques habituelles.

Par ailleurs les mesures envisagées visent parfois à limiter l'extension du territoire boisé. C'est notamment le cas des mesures tendant à lutter contre les effets de la déprise agricole se traduisant par un envahissement naturel des sols par une végétation ligneuse : le phénomène des accrues dont on peut estimer qu'il a représenté au cours des dix dernières années plus de la moitié de l'extension nouvelle des sols boisés. Ces mesures révèlent d'ailleurs que la conception de l'environnement qui prédomine actuellement est souvent associée à une activité de gestion du territoire et non à une absence totale d'usage qui reviendrait à l'état "naturel".

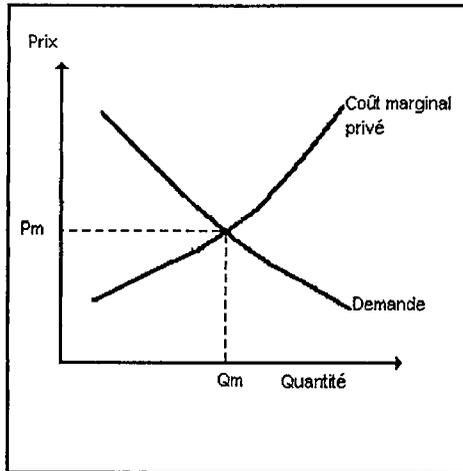
Ces mesures constituent cependant une première approche du problème. On peut penser qu'un éventuel développement (redéveloppement) de la forêt paysanne passera par le biais des subventions que la collectivité sera disposée à accorder pour la rémunération des services environnementaux. Leur efficacité dépendra bien entendu du niveau d'effort que la société veut consentir à cet effet (par rapport à d'autres utilisations des ressources). Aussi est-il important d'évaluer le "consentement à payer" de la société pour les services environnementaux des espaces boisés ainsi que les "contrats" (modes de gestion sylvicole) qui lui seraient associés et leurs conséquences sur la production de bois.

ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA VALORISATION DES SERVICES NON-MARCHANDS DES FORETS

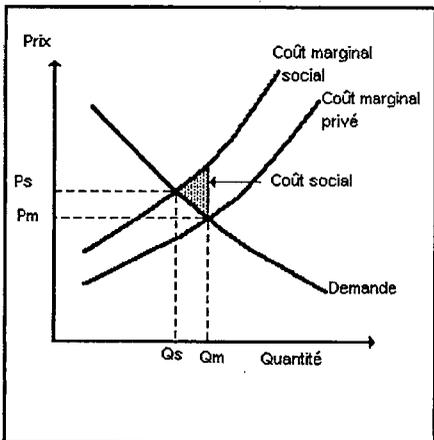
- BARRETT, S.** -1989- "Deforestation, biological conservation, and the optimal provision of Wildlife reserves", London Environmental Economics Centre, LEEC paper 89/O6, 36p.
- BOJO, J.** -1985- "Une analyse coût-avantage des forêts de montagne. Le cas de la vallée de Vala", Ecole d'Economie de Stockholm, Stockholm, Suède.
- BOWES, M., KRUTILLA, J.** -1989- "Multiple-use Management: The Economics of Public Forestlands". Resources for the Futur, Washington D.C.
- BROOKSHIRE, D.S., EUBANKS, L.S., RANDALL, A.** -1983- "Estimating Option Prices and Existence Values for Wildlife resources", Land Economics 59, pp. 1-15.
- CROCKER, T.D.** -1985- "On the Value of the Condition of a Forest Stock", Land Economics, vol. 61, n°3, pp.244-254.
- D'ARGE, R.C., SCHULZE, W.D., BROOKSHIRE, D.S.** -1982- "Carbon dioxide and intergenerational choice", American Economic Review Papers and Proceedings, 72, pp. 251-256.
- EVERETT, R.D.** -1979- "The Monetary Value of the Recreational Benefits of Wildlife", Journal of Environmental Managment, Vol 9.
- EWERS, H.J., et al.** -1986- On the Monetization of Forest Damages in the Federal republic of Germany", in Kosten der Umweirtschmutzung, Umweltbunesamt, Berichte 7/86.
- FREIMUND, W.A.** -1990- "The Effects of Gypsy Moth Caused Tree Mortality or Aesthetic Preference and Behavior Intentions", Mémoire, West Virginia University.
- HANLEY, N., RUFFEL, R.** -1991- "Recreational Use Values of Woodland Features". Report to Forestry Commission, Edinburgh.
- HANLEY, N.D., COMMON, M.S.** -1987a- "Estimating Recreation, Wildlife and Landscape Benefits Attached to Queen Elizabeth Forest Park", Final Report to Forestry Commission, Edimbourg, Grande-Bretagne.
- HANLEY, N.D., COMMON, M.S.** -1987b- "Evaluating the Recreation, Wildlife and Landscape Benefits of Forestry : Preliminary Results from a Scottish Study", Papers in Economics Finance and Investment, n°141, University of Stirling, Grande-Bretagne.
- HANLEY, N.D., RUFFEL, R.** -1993- "The Valuation of Forest Characteristics", In Forestry and the Environment : Economic Perspectives, edited by Adamowicz W.L., White W., Phillips W.E., pp. 171-197.
- HOEN, H.F., WINTER, G.** -1991- "Attitudes to, and Willingness to Pay for, Multiple-Use Forestry and preservation of Coniferous Forest in Norway", Rapport au Ministère des Forêts, Université d'Agriculture de Norvège.
- HUNTER, M.L.** -1990- "Wildlife, forests, and forestry. Principles of managing forests for biological diversity". Prentice.Hall, Inc. Englewood Cliffs.
- JOHANESSON, M., JOHANSSON, P-O., JONSSON, B.** -1991- "Willingness to Pay for Antihypertensive Therapy - Results of a Swedish Pilot Study", Journal of Health Economics, Vol 10, pp.461-474.

- LESLIE, A.J.** -1967- "Cost-benefit analysis in relation to plantation development projects", *Australian Forestry*, 31, pp. 19-32.
- LINDDAL, M., NASKALI, A (eds)** -1993- "Valuing Biodiversity", *Scandinavian Forest Economics*, n°34, 158p.
- LINDER, J.W. VAN DER, OOSTERHUIS, F.H.** -1988- "The Social Evaluation of the Vitality of Forest and Heath", Report VROM 80115/3 - 88 4850/101 from the Ministry of Public Housing, Physical Planning and Environmental Management.
- LOOMIS, J.B., LOCKWOOD, M.B., DELACY, T.** -1993- "Some Empirical Evidence on Embedding Effects in Contingent Valuation of Forest protection", *Journal of Environmental Economics and Management*, à paraître.
- NAVRUD, S., et al.** -1990- "Valuing Environmental Effects of Different Management Practices in Mountainous Forests in Norway: A Survey of Recreationists' Preferences and Willingness to Pay", Paper Presented at the XIX World Congress of International Union of Forestry Research Organizations, Montréal.
- PUKKALA, T.** -1988- "Methods to incorporate the amenity of Landscape into forest management planning". *Silva Fennica* 22(2), pp.135-146.
- SAASTAMOINEN, O.** -1992a- "Economic evaluation of biodiversity values of Dipterocarp forests in the Philippines". The Second Meeting of the International Society of Ecological Economics (ISEE) Investing in Natural Capital. A prerequisite for Sustainability; Stockholm University, Stockholm, Sweden, August 3-6, 1992.
- SAASTAMOINEN, O.** -1992b- Comparative economics of multiple-use in boreal and tropical forests; cases from Finland and the Philippines. An invited paper in IUFRO S6.11.04 session on "Economic evaluation of Multifunctional forestry" . The IUFRO Centennial Meeting in Berlin/ Eberswalde 30 August - 4 September 1992.
- SCHULTZE, W. et al.** -1993- "Economic benefits of preserving visibility in the National Parklands of the Southwest", *National Resources Journal*, 23.
- SORG, C.F., LOOMIS, J.B.** -1984- "Empirical Estimates of Amenity Forest Values : A Comparative Review", General Technical Report RM-107, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, U.S. Forest Service, Fort Collins, Colorado.
- WALSH, R.G.** -1991- "Empirical Evidence on Benefits of Protecting Old Growth Forest and the Spotted Owl", Appendice B, In *Economic Analysis of Designation of Critical Habitat for the Northern Spotted Owl*, U.S. Department on the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- WALSH, R.G., JOHNSON, D.M., MACKEAN, J.R.** -1990- "Non-Market Values from Two Decades of Research on Recreational Demand", In A.N. Link, W.K. Smith (eds), *Advances in Applied Microeconomics*, Vol 5, LAI Press, Greenwich.
- WILLIS, K.** -1991- "The Recreation Value of the Forestry Commission estate", *Scottish Journal of Political Economy* 38, 58-75.
- WILLIS, K., BENSON, J.** -1989- "Recreational Values of Forests", *Forestry* 62, pp. 93-110.

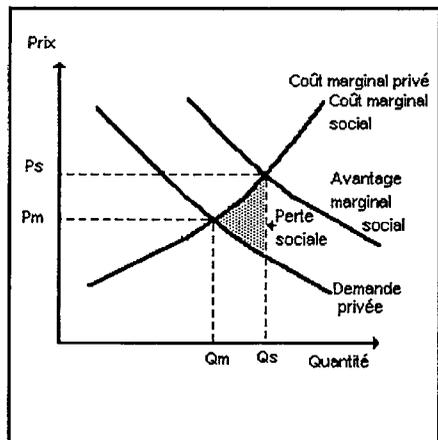
Graphe 1 : Equilibres d'un marché en l'absence et en présence d'externalités



1.1 - Equilibre du marché sans externalités



1.2 - Marché en présence d'une externalité négative



1.3 - Marché en présence d'une externalité positive

Tableau I : Eléments de valorisation de certains services non marchands des espaces boisés.

I.1 - Valeurs récréatives des espaces boisés : exemple de 6 forêts anglaises en 1987.

Forêts	Caractéristiques	Valeur par visite	Nombre de visite/an	Valeur récréative/ha/an
THETFORD	S = 20.000 ha	25 F	102.000	127 F
GRIZEDALE	S = 3.500 ha	12 F	80.000	274 F
DALBY	S = 4.500 ha	18 F	130.000	520 F
HAMSTERLEY	S = 2.086 ha	17 F	122.000	994 F
CLATTERINGSHAWS	S = 5.870 ha	22 F	32.000	120 F
SYMONDS YAT	S = 1.440 ha Site particul. touristique	21 F	158.000	2.300 F

Source : Willis K.G., BENSON J.F. - Recreational values of forests. Forestry vol. 62, n°2, 1989, pp. 93-110. (Méthode des coûts de transport; résultats en Livres transformés en Francs à la parité de l'année 1987).

I.2 - Dispositions à payer pour la sauvegarde d'espèces et d'habitats liés aux espaces boisés

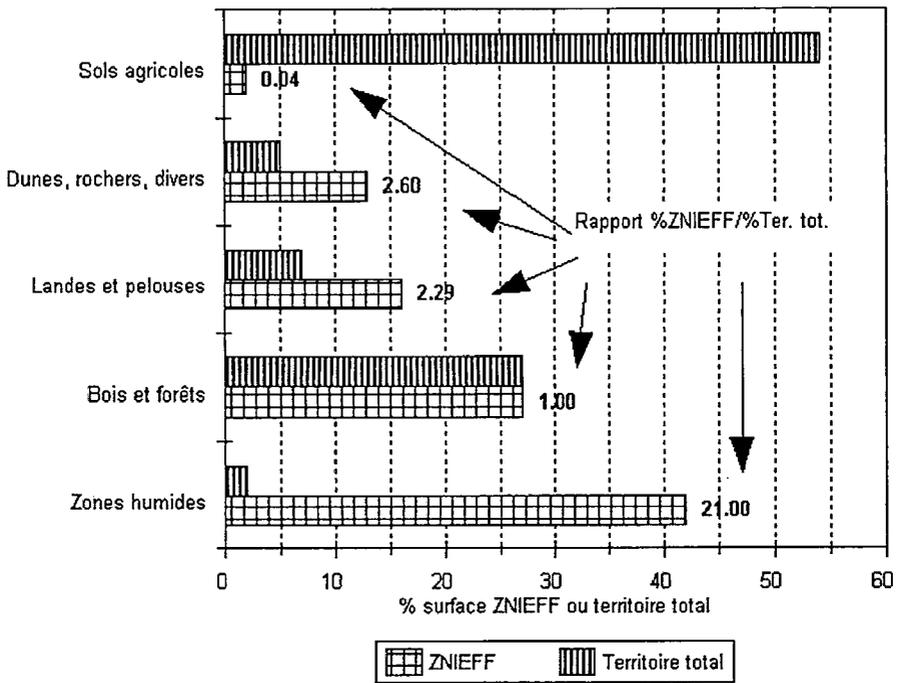
Pays	Objet	Disposition à payer en \$US 1990/personne/an
Suède	300 espèces animales et végétales forestières	7
USA	Variété de Hibou caractéristique des forêts résineuses naturelles de côte est	21
Norvège	Forêts de conifères ayant l'aspect de forêts naturelles	13-18
Suède	Six espaces forestiers à valeur récréative et cinq forêts naturelles	3-4
Suède	Préservation de toutes les forêts naturelles du pays	5-8

Source : LINDDAL M., NASKALI, A. (Ed.) - Valuing biodiversity. Scandinavian Forest Economics, n° 34, 1993, 158 p.

Tableau II : Prise en compte des formations boisées dans le dispositif agri-environnemental d'accompagnement de la réforme de la PAC.

Objectifs et sous-objectifs	Mesures (ou actions) applicables	Montant et durée du contrat	Produc. agricole
I - Protection des eaux et lutte contre l'érosion			
I.1 - Protection des captages	• Conversion en herbages extensifs	2.500 F/ha/an sur 5 ans	oui
I.2 - Protection des cours d'eau	• Retrait long terme * herbages non pâturés	3.000 F/ha/an sur 20 ans	non
I.3 - Lutte contre l'érosion	* boisements, alignements		
II - Protection faune et flore			
• biodiversité	• Retrait long terme : * jachères "faunistiques", "écologiques", "cynégétiques" * haies et bosquets	3.000 F/ha/an sur 20 ans	non
III - Opérations locales (ex art. 19)			
III.1 - Protection des biotopes rares et sensibles • zones humides • pelouses sèches, landes • pré-bois	• Contrôle de l'extension forestière artificielle (zonage) ou naturelle (accrues), entretien des lisières	au cas par cas selon surcoût de gestion,	oui
III.2 - Lutte contre les effets de la déprise • Général • Mise en valeur des paysages • Préserver, reconstituer bocage • Défendre forêts contre incendie	• Contrôle et gestion des ligneux (biodiversité, paysage) • Mise en valeur des paysages : réglementation des boisements, gestion forestière respectueuse du paysage, maintien éléments structurants (haies, alignements, bosquets) • pâturage extensif	perte de revenu ou manque à gagner de 100 à 1.100 F/ha/an	

Graph 2 : "intérêt écologique" de diverses catégories de territoire - comparaison de la part dans les ZNIEFF et de la part dans le territoire total



Sources : Ministère de l'Environnement ; SCEES-enquête TERUTI

Peuplier, agriculture et paysages

Sophie Le Floch

Cemagref, groupement de Nogent-sur-Vernisson
Division Amélioration génétique et pépinières forestières
Domaine des Barres, 45290 Nogent-sur-Vernisson
Tél. 38 97 60 59 – Fax 38 97 73 36

I. Rappel : Importance des relations entre populiculture et agriculture

De tout temps, le peuplier a entretenu des relations étroites avec le monde agricole (Terrasson, 1992 ; Terrasson et Le Floch, à paraître). Il existe deux formes d'intégration de la populiculture à l'agriculture.

1. Agroforesterie

Pour l'essentiel, la populiculture est née dans la parcelle agricole. Deux schémas peuvent être décrits : d'une part, l'alignement en bordure de parcellaire, d'autre part la peupleraie en plein sur prairie avec pâturage et/ou fauchage intercalaire, voire la peupleraie superposée à une autre culture (céréale le plus souvent). Dans ce second cas, il s'agit d'agroforesterie au sens strict, l'arbre ayant pour vocation principale la production de bois ; c'est de ce schéma qu'il sera question quand le terme d'agroforesterie sera employé dans la suite du texte.

Attestée au XVIII^e siècle, cette forme d'agroforesterie est sans doute beaucoup plus ancienne : il en existe des traces au XVI^e siècle ainsi que dans l'Antiquité, dont il est cependant très difficile d'évaluer l'importance quantitative.

Aujourd'hui, même si la populiculture associée (essentiellement céréales) est marginale, elle n'est pas exceptionnelle, notamment dans le Sud-Ouest ; par ailleurs, elle représente peut-être la seule forme d'agroforesterie significative en France, la seule en tout cas qui soit recensée par les statistiques d'occupation du sol (TERUTI).

2. Forêt paysanne

Le XIX^e siècle, surtout dans sa seconde moitié, est marqué par une évolution dans le sens d'une substitution totale, sur la parcelle entière, de la populiculture à l'agriculture. Les principales raisons en sont l'abandon des pâtures en vallées humides par suite de l'exode rural et des progrès de l'agronomie. Le rythme d'accroissement connaît une "pointe" à l'issue des deux conflits mondiaux. Dans le contexte actuel de mutations agricoles, concernant notamment l'élevage, la surface des peupleraies en vallée voit son rythme d'accroissement augmenter à nouveau, significativement dans certaines régions : + 6% de 1982 à 89 au niveau national, + 21 % dans les régions Pays de la Loire et Centre ensembles (Terrasson, 1992 : sources SCEES).

Soit la plantation est le fait de propriétaires terriens non-agriculteurs qui, ne trouvant plus d'exploitants, boisent ; soit elle émane d'agriculteurs qui plantent à la suite de changements dans leur activité. Dans le second cas, la peupleraie correspond à un exemple de forêt paysanne.

Aujourd'hui, 12 % des peupleraies seraient rattachées à des exploitations agricoles, et 3% des exploitations françaises auraient des peupleraies pour une surface moyenne de 1,4 hectare (source : enquête EASEA, ministère de l'Agriculture, 1977-78).

II. Questions soulevées par la populiculture aujourd'hui : les aspects sociaux l'emportent sur les problèmes techniques

1. Aspects techniques

D'une façon générale, la populiculture en France aujourd'hui ne pose pas réellement de problèmes techniques ou scientifiques, même si, bien sûr, des améliorations sont toujours possibles. La principale question qui reste à résoudre est celle des résistances pathologiques durables pour une culture mono- ou pauci-clonale.

Les cultures associées se pratiquent sans qu'il y ait eu d'études d'optimisation technico-économique. Il faut cependant remarquer que le but de telles cultures aujourd'hui n'est sans doute pas tant d'atteindre un optimum que de réaliser à coût nul voire avec un bénéfice les entretiens du sol dont l'effet favorable sur la croissance des arbres est acquis.

Les raisons de cette pratique et du choix du peuplier sont à rechercher d'une part dans la faisabilité technique d'une plantation à densité définitive, d'autre part dans le fait que l'essence a toujours été en étroite relation avec le monde agricole tant aux plans spatial que social.

2. Importance d'une demande sociale en termes d'écologie et de paysage

Cependant, des préoccupations d'un genre nouveau sont apparues il y a quelques années concernant la populiculture en général et tendent à faire obstacle à son développement : elles relèvent cette fois surtout du domaine social. Ainsi, au sein de plusieurs territoires, des critiques sont portées contre la culture du peuplier. Elles sont posées de manière floue et complexe, avec des arguments mêlant des considérations écologiques et paysagères, techniques et sociales... Elles émanent d'acteurs nombreux et variés, et reflètent une demande sociale essentiellement "extérieure" au monde agricole et forestier.

La volonté de limiter le développement de la populiculture se traduit dans la pratique par des interdictions de boisement au niveau des communes ; des interdictions sont également à l'étude dans le cadre de la rédaction de certaines chartes de Parcs Naturels Régionaux.

III. Démarche générale du CEMAGREF : une approche paysagère

1. Le paysage comme clé d'entrée

L'approche paysagère, choisie par le CEMAGREF, semble une clé d'entrée adaptée pour aborder ces aspects, en ce sens qu'elle permet l'étude des relations sensibles à l'espace et à la nature.

Ces relations naissent de la pratique personnelle de territoires particuliers (exercice d'une profession basée sur l'exploitation de la terre, expériences liées aux loisirs,...), de la culture au sens large (profession, art, histoire, science...), de l'idéologie ambiante (écologisme,...). Elles sont d'ordre affectif ou purement esthétique, et peuvent être en bonne partie appréhendées par l'analyse des discours et des représentations iconographiques et littéraires. Elles se traduisent en retour par des projets ou actions sur le milieu.

Trois phases peuvent être distinguées dans l'approche.

2. Approche descriptive

Une première phase du travail est descriptive : un panorama, même non-exhaustif, de quelques paysages populicoles français a été réalisé et met en évidence la diversité des situations locales. Il montre la participation du peuplier à l'organisation des espaces, les diverses relations qu'il entretient avec d'autres composantes comme l'eau ou l'agriculture, les impacts visuels correspondants (rôles plastiques du peuplier).

Souvent, vue de l'extérieur, par exemple depuis le coteau, une zone populicole apparaît comme une masse compacte ou un cordon continu se déroulant en fond de vallée. Mais, de plus près ou de l'intérieur, certains paysages populicoles présentent une variété du fait de l'alternance de volumes boisés et de champs ouverts. Dans certaines portions de la vallée de la Garonne (47), par exemple, quelques peupleraies disséminées dans un espace de cultures intensives forment une diversité sans vraiment créer de rupture : la continuité avec l'espace agricole est maintenue par la forte perméabilité des plantations intensivement conduites, voire par la présence d'une culture associée en sous-étage. Sans doute le peuplier y est-il en quelque sorte une culture comme une autre, tout à fait intégrée...

Dans d'autres cas, la populiculture crée une enclave boisée dans l'espace agricole : autour des marais d'Ecourt-Saint-Quentin (62), les peupleraies juxtaposées et extensives (présence d'un sous-étage imperméable) constituent un bandeau forestier protecteur autour des lieux de loisirs que sont les étendues d'eau, et participent ainsi à définir un espace de nature en rupture avec le monde agricole et, par extension, avec le monde du travail et de l'habitat quotidiens.

Enfin, certains paysages sont totalement fermés par le peuplier et la végétation spontanée se développant en sous-étage, comme dans le cas de la vallée de l'Ourcq (77) : l'agriculture a manifestement abandonné les lieux depuis longtemps.

Citons également les paysages de bocage auxquels participe le peuplier et qui sont les témoins d'une forme traditionnelle d'intégration de la populiculture au monde agricole : Venise Verte du Marais Poitevin, par exemple (79).

Cette lecture du paysage permet aussi de réaliser la transition depuis les formes et structures à leurs explications, c'est-à-dire qu'elle permet d'émettre des hypothèses quant au fonctionnement des systèmes de production, à leurs évolutions, au poids des contraintes écologiques...

3. Recherche historique de modèles d'appréciation du peuplier

Une seconde phase, actuellement en cours, vise à rechercher les modèles d'appréciation du peuplier pré-existants susceptibles de contribuer à expliquer les relations actuelles que notre société entretient avec l'essence et avec les paysages où elle est cultivée.

Représentations artistiques

L'art (peinture, photographie y compris carte postale, littérature) fournit des modèles de représentations paysagères qui nous informent à la fois sur les pratiques et les regards portés par certaines parties de la société sur ces pratiques, et sur les influences que les regards d'une partie plus large de la société ont pu connaître en retour.

A ce niveau, deux axes de recherche se dessinent. D'une part, il s'agit d'examiner si le peuplier a été "vu", et comment il a été vu ; d'autre part, il s'agit d'identifier les types de paysages auxquels ses représentations renvoient (paysages forestiers, agricoles, urbains...) et, d'une façon plus large, de considérer les schémas d'appréciation artistique des milieux où la culture du peuplier est susceptible de s'insérer, notamment la vallée.

Les premiers résultats présentent deux aspects, non-exclusifs l'un de l'autre, mais au contraire bien souvent indissociables.

D'une part, c'est la forme qui intéresse l'artiste lorsqu'il utilise le peuplier. Le succès du peuplier d'Italie et de l'alignement de peupliers comme simples éléments de composition picturale, amorcé dès le XVIII^e siècle (qui voit se développer à la fois la culture du peuplier et le paysage dans les décors picturaux), s'est poursuivi jusqu'à nos jours dans l'image en général ; c'est d'ailleurs sans doute l'aspect essentiel que cette dernière a retenu du peuplier, au-delà de toute autre signification (de Valenciennes à la fin du XVIII^e, P. Sérusier, photographies de magazines actuels...).

D'autre part, le peuplier est représenté pour son identité propre ainsi que les paysages et, au-delà, les idées qu'il évoque. Le peuplier participe alors à une certaine image de la France. Image urbaine, d'abord, à laquelle contribue naturellement beaucoup son aspect plastique : des sujets isolés, en bosquet ou alignés s'associent à l'architecture et à l'art des jardins (H. Robert à la fin du XVIII^e, A. Claas aujourd'hui). Image rurale, ensuite, où il s'agit quasi-exclusivement de l'alignement de peupliers. Elle se développe surtout dans la seconde moitié du XIX^e siècle, et est présente chez les Impressionnistes (Monet), par exemple, mais aussi dans la carte postale, la littérature et les récits de voyages ; de nos jours, elle se retrouve chez des photographes (H. Cartier-Bresson).

Ainsi, lorsque cette contribution du peuplier à une image de la France rurale est créée au XIX^e siècle, elle est certes loin d'être de première importance, mais le peuplier est l'un des éléments de l'ordre éternel des champs et a une dimension à la fois économique, symbolique et esthétique. Représenté en plantations linéaires et élagué, il cotoie parfois les meules, ce motif qui désigne l'activité agricole dans ce qu'elle a de traditionnel et d'immuable (Monet). Il inscrit

dans la troisième dimension les limites de pouvoir : limites de parcellaire, limites communales... Dimension symbolique encore, quand il souligne la puissance et la modernité de la nation le long des voies de communication –routes et canaux–. Dimension esthétique, enfin, dans son port élancé et son feuillage lumineux qui contribuent à en donner une image de fragilité, de féminité, qui se retrouve en littérature ou en poésie (Balzac).

Le peuplier apparaît fortement intégré au monde agricole, mettant en valeur ses différents aspects, mais n'occupant jamais une place exclusive : s'il souligne un cours d'eau serpentant en fond de vallée, il ne ferme jamais les vues, et les espaces dans lesquels il s'insère sont perçus comme fondamentalement ouverts (La France Pittoresque). Les représentations de peupleraies en plein sont exceptionnelles ; quelques unes apparaissent depuis quelques années, mais sembleraient pour le moment refléter surtout quelques personnalités artistiques (A. Martin) plutôt qu'un regard significatif de notre société.

D'une manière générale, cette phase de la recherche donne du peuplier l'image de l'arbre socialisé par excellence, par opposition à l'arbre originaire, constituant de la forêt profonde et mystérieuse ; il est le lien entre l'urbain et le rural, entre la tradition et la modernité, entre la nature et la culture.

Représentations scientifiques et techniques

De même, le domaine des sciences et techniques reflète et influence les façons de voir la nature.

S'il existe des traces très anciennes de l'utilisation du peuplier, l'introduction de nouvelles espèces et variétés à partir du XVIII^e siècle marque un développement significatif de sa culture, tant pour l'ornement que pour la production de bois, le peuplier d'Italie (introduit vers 1745) symbolisant ces deux aspects.

Au XIX^e siècle, la populiculture poursuit son développement, parallèlement aux mutations du monde agricole. Le peuplier est alors décrit comme un élément de valorisation de terrains improductifs voire menacés d'insalubrité, ainsi que comme un modèle idéal de valorisation de la recherche scientifique et technique. Ces façons de voir sont inaugurées par une catégorie de scientifiques forestiers (forestiers "pro-exotiques", notamment les membres successifs de la Commission Nationale du Peuplier) associés à de grands propriétaires terriens et à des personnalités appartenant à des sociétés savantes d'agronomie ou d'agriculture.

4. Analyse des représentations sociales actuelles du peuplier

Une troisième phase, également en cours, porte sur l'analyse des représentations sociales actuelles du peuplier en rapport avec les paysages où il est cultivé, à partir de quelques exemples locaux.

Deux hypothèses orientent la recherche : les représentations sont fonction d'une part des contextes locaux (écologiques, socio-économiques) et de leurs évolutions (rapidité et importance des évolutions), d'autre part des groupes concernés (nature et degré de relation au territoire concerné, "culture" au sens large...).

C'est à la fois l'analyse des aspects sociologiques et l'examen des évolutions en cours et prévisibles de la populiculture qui peuvent permettre de prévoir l'apparition de conflits et d'imaginer les conditions du développement ou non de cette activité.

Nous présenterons ici deux exemples de situations radicalement différentes, aux niveaux tant géographique que technico-économique ou encore social :

- l'exemple des Basses Vallées Angevines (49) montre comment le peuplier devient enjeu social dans un débat mené par des groupes sociaux externes ou nouveaux par rapport au territoire, au nom de considérations écologiques et paysagères.
- l'exemple de la vallée de l'Antenne (16) montre le rôle du peuplier dans le cadre de vie des populations locales, en tant qu'élément valorisant d'un espace de liberté et d'agrément.

IV. Exemples : deux situations régionales

1. Les Basses Vallées Angevines (49)

Jusqu'aux années soixante, les Basses Vallées Angevines présentaient un paysage de prairies ouvertes sur des milliers d'hectares, à la confluence de trois rivières : Mayenne, Sarthe, Loir. A la fin des années soixante, les premières peupleraies sont apparues, et elles n'ont cessé de se multiplier depuis, pour couvrir aujourd'hui 700 hectares, soit 12 % de la zone. Les raisons sont d'une part les difficultés de l'élevage, qui poussent certains propriétaires (nombre d'entre eux n'étant pas exploitants) à boiser, d'autre part la baisse des prix du foncier qui incite des investisseurs externes à acheter dans le but spécifique de se livrer à une activité populicole.

Les bouleversements génèrent un véritable conflit ciblé sur le peuplier. Le conflit met en jeu essentiellement des groupes nouveaux sur le territoire et en grande partie externes à sa gestion directe et quotidienne : association de protection de la nature, administrations, investisseurs externes... Les discours mêlent les arguments écologiques, économiques, paysagers, etc, les fondements paraissant peu clairs et les amalgames nombreux. Il s'avère que les réels enjeux sont ici des luttes d'intérêts et d'influence de la part d'acteurs voulant s'appropriier et influencer la gestion d'un territoire, chacun à sa manière.

Les acteurs locaux, très discrets –voire absents– du conflit, témoignent pour leur part de préoccupations tout à fait différentes aux revendications "écologico-paysagères" des autres acteurs.

D'un côté, le peuplier leur pose un problème car il modifie leur décor paysager familier, modifications par endroits fortement ressenties ; les agriculteurs peuvent le considérer de manière négative en ce sens qu'il est un élément étranger à leur pratique professionnelle traditionnelle, voire un élément menaçant l'activité agricole, ou bien parce qu'il signifie les difficultés de l'agriculture, ses mutations.

De l'autre côté, ils reconnaissent que le peuplier a une place sur leur territoire, au niveau économique comme paysager.

2. La vallée de l'Antenne (16)

L'Antenne est une petite vallée qui s'est progressivement fermée depuis les années quarante par des plantations de peupliers entre lesquelles et à l'intérieur desquelles s'est développée une végétation ligneuse spontanée. Là encore, les raisons proviennent des évolutions démographiques et économiques de l'agriculture : abandonnant les systèmes de polyculture-élevage, la population agricole s'est tournée exclusivement vers les coteaux plantés en vignes.

La vallée n'est actuellement le lieu d'aucun conflit. Pour les groupes qui l'utilisent à un titre ou à un autre, le peuplier est un élément parmi les autres, qui contribue à la valorisation globale d'un espace qui est surtout espace de liberté et d'agrément, à la fois opposé et complément de l'espace viticole, pour les agriculteurs et résidents locaux comme pour les gens venus des communes voisines y passer des loisirs.

Pour les propriétaires, qui sont essentiellement des agriculteurs retraités et en activité, la culture du peuplier est une pratique traditionnellement menée sur le bout de terrain que toute exploitation possède dans la vallée. Son rôle est bien sûr économique : elle procure un revenu occasionnel qui sert de complément au revenu agricole ou à la retraite (autrefois, l'utilisation du bois de peuplier comme matériau de construction a pu avoir une importance au sein de l'exploitation agricole). Mais il est aussi patrimonial : cette culture permet de conserver et de valoriser le foncier possédé dans la vallée et, par là-même, de conserver l'accès à l'eau et aux lieux de loisirs, la populiculture pouvant constituer elle-même un passe-temps.

Pour les usagers de la vallée dans leur ensemble, le peuplier est un des éléments du paysage, plutôt valorisant : il est un facteur d'agrément parce qu'il entre dans la composition d'un paysage familier auquel les habitants sont attachés, parce qu'il est un arbre dont les caractéristiques de port et de feuillage sont appréciées, parce qu'il est, enfin, une culture qui permet un certain entretien de l'espace qui serait autrement livré à la nature sauvage, "sale" et "désordonnée"...

De ces deux exemples, deux choses sont à retenir concernant le peuplier dans le paysage. D'une part, l'appréciation qui en est faite n'est pas en relation directe avec la quantité de plantations : d'autres facteurs interviennent. D'autre part, des appréciations de diverses natures s'y appliquent et, même pour les acteurs de la populiculture, les aspects technico-économiques ne sont pas forcément les seuls à entrer en ligne de compte, ni même toujours les premiers.

V. Conclusion : perspectives de recherche

Le peuplier a toujours une place importante dans de nombreux territoires agricoles français, et peut même, dans le contexte agricole actuel, voir son importance s'accroître encore : certes, comme moyen de valoriser le foncier et de diversifier les activités économiques au sein de l'exploitation agricole, mais aussi comme élément contribuant à l'agrément des paysages ruraux pour l'ensemble de la société.

Cependant, il est clair que cette place ne peut être conservée ou prise que dans certaines conditions qui portent sur les surfaces en peuplier, leurs dispositions spatiales et les relations qu'elles entretiennent avec les autres composantes de l'espace, la nature et l'intensité du suivi, les évolutions de l'ensemble ; ces conditions peuvent varier d'une région à une autre.

Au vu des observations déjà effectuées, quelques questions complémentaires nous semblent à aborder en vue de mieux connaître et comprendre la place du peuplier dans les paysages ruraux et dans l'appréciation par la société de ces paysages :

- au vu des revendications écologiques actuelles, qui tendent à prendre un certain poids dans les décisions d'aménagement sans qu'elles soient pour autant toujours et complètement fondées, il semble prioritaire de lancer des programmes de recherche pour l'évaluation du fonctionnement global de milieux comprenant des peupleraies, mais aussi –comme c'est souvent le cas dans les territoires popuicoles– d'autres types d'occupation du sol.
- par ailleurs, il s'agit de poursuivre les recherches dans le domaine du social, en s'attachant :
 - à la place du peuplier dans le monde agricole, en examinant notamment les motivations, blocages et comportements des agriculteurs vis-à-vis de la popuiculture
 - aux relations entre le peuplier dans le monde agricole et la demande sociale en général.

Liste des travaux réalisés dans le cadre de ce thème de recherche

LE FLOCH S., 1992.- La popuiculture en France : une approche paysagère.- Nogent/Vernisson : CEMAGREF (Mémoire de fin d'Etudes de l'Ecole Nationale des Ingénieurs des Techniques de l'Horticulture et du Paysage).

LE FLOCH S., 1993.- La prairie, l'oiseau et le peuplier. Réalités et représentations du peuplier à travers l'analyse d'un conflit dans les Basses Vallées Angevines.- Nogent/Vernisson : CEMAGREF, 71 p. (Mémoire de DEA "Jardins-Paysages-Territoires", Ecole d'Architecture de Paris-La-Villette, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales).

LE FLOCH S., 1994.- Etude paysagère de la vallée de l'Antenne (Charente).- Nogent/Vernisson : CEMAGREF, 60 p.

LE FLOCH S., TERRASSON D., 1994.- Le peuplier, enjeu écologique et social.- (actuellement examiné par le comité de rédaction de *Natures-Sciences-Sociétés*).

LE FLOCH S., TERRASSON D., BREMAN P., 1993.- La peupleraie dans le paysage. Analyse visuelle d'une formation forestière pas comme les autres.- *Informations Techniques du CEMAGREF*, n° 91, note 4, 7 p.

TERRASSON D., 1992.- Evolution de la popuiculture. Période de 1988 à 1992.- Commission Internationale du Peuplier (FAO), XIXe session (Espagne), Rapport National de la France, 39 p.

TERRASSON D., 1992.- Les peupliers et les saules en complément de l'agriculture. Rapport de la France.- Commission Internationale du Peuplier (FAO), XIXe session (Espagne), 22 p.

TERRASSON D. ET LE FLOCH S., 1994.- Le peuplier, auxiliaire ou concurrent pour l'agriculture et l'élevage : importance historique et formes actuelles de leurs relations.- 13 p., (à paraître).

*Systemes hydrauliques
et systemes agraires*

Développement du boisement dans un système agraire soumis à des contraintes de qualité de l'eau souterraine

Jean-Pierre Deffontaines

INRA – Unité Systèmes agraires et développement
Route de Saint-Cyr, 78026 Versailles Cedex
Tél. 30 83 33 81 – Fax 30 83 33 93

Ce projet est le résultat de plusieurs réunions préparatoires :

Le 21 janvier 1994 : visite du site.

Le 29 juin : une réunion a rassemblé divers chercheurs (INRA, ENGREF, CNRS) autour des représentants de la Société des Eaux de Vittel.

Le 5 septembre : réunion de travail sur les boisements des terres agricoles dans les bassins d'alimentation et leurs effets sur la qualité de l'eau.

Le 13 octobre : les forestiers de l'ONF présentent le rapport rédigé à la demande de la Société et intitulé "Aménagement de l'espace rural, périmètre de protection de la nappe de Vittel, implantation de formations végétales ligneuses".

Le 30 novembre : réunion des chercheurs avec l'ONF pour préciser le projet de programme (INRA, ENGREF, CIRAD, CEMAGREF).

Dans ce rapport nous aborderons successivement la genèse du programme de recherche, le contexte où il se déroule, sa structure et son organisation, et enfin les enjeux .

I - Genèse du programme

A l'origine une question posée à l'INRA en 1989 par une entreprise de production d'eau minérale : Vittel/Nestlé : *Comment faire en sorte que le taux de nitrate ne dépasse pas un certain seuil dans les eaux de source, sachant que l'eau est issue d'un périmètre de protection très largement dominé par l'activité agricole ?*

La question est nouvelle qui lie l'activité agricole à la qualité de l'eau.

Nous retenons l'idée que cette qualité renvoie à un problème de développement et l'engagement de l'équipe de recherche se fait sur la thématique suivante :

Dans quelles conditions une agriculture locale, soumise à des contraintes nouvelles de protection de la ressource en eau, peut se développer ?

Nous faisons l'hypothèse que le maintien et le développement d'une agriculture locale performante maîtrisant ses effluents dépend du fonctionnement et de l'évolution du système agraire défini par les acteurs concernés, par leurs activités et le territoire protégé et par les relations qui s'établissent entre eux à l'occasion de la production agricole et de l'organisation du territoire.

Le programme s'est déroulé en deux étapes :

La première intitulée : "diagnostic et propositions" s'appuie sur une analyse de situation des différents sous-systèmes (systèmes de culture et d'élevage, systèmes d'exploitation, systèmes des relations économiques et sociales). Elle débouche sur un diagnostic et sur des propositions de changement des pratiques agricoles et des systèmes de production.

La seconde étape qualifiée : "pratique et théorie du changement", commencée en 1993, a pour but de réaliser un suivi scientifique des transformations engagées dans les exploitations.

C'est dans le contexte de ce second volet de la recherche que se situe une nouvelle interrogation de l'entreprise Vittel/Nestlé qui est la suivante :

Comment développer le boisement sur le périmètre de protection de façon à compléter les actions menées sur la qualité de l'eau minérale et à créer un cadre environnemental correspondant à une image qui soutienne le produit eau minérale, ceci sans occasionner de contraintes supplémentaires pour les exploitations agricoles ?

Cette interrogation a été reprise en termes de question de recherche sous la forme suivante :

Analyse des conditions et des conséquences du développement du boisement dans un système agricole soumis à de fortes contraintes de qualité des eaux souterraines.

Cette analyse est finalisée par trois objectifs :

- définir la contribution des boisements à la réduction du transfert des nitrates dans la nappe.
- connaître et anticiper les effets des boisements sur les paysages et sur la biodiversité.
- prendre en compte les boisements comme un facteur fonctionnement des exploitations qui adoptent les changements de pratiques agricoles et de système de production, .

II - Le contexte

Le site (cf. carte) se développe entre deux cuestas aux revers boisés orientés sud-ouest/nord-ouest. Il se présente comme un plateau légèrement ondulé, d'altitude moyenne comprise entre 425 et 450 mètres et fortement incisé par deux petits cours d'eau. Les affleurements géologiques appartiennent aux couches du muschelkalk supérieur : calcaires à entroques, couches à ceratites, dolomie de Vittel, lettenkohle.

Le paysage est historiquement celui d'un plateau ouvert; allongé entre deux grands massifs boisés, au nord-ouest le massif de Vittel, au sud-est la forêt de Darney. Deux voies romaines traversent le site dans le sens sud-ouest/nord-est ; ces tracés n'ont pas été repris par les axes actuels de communication .

Le périmètre de protection d'environ 5.000 ha comprend le territoire entier de deux communes et une partie de quatre autres. Il est essentiellement agricole.

Une quarantaine d'exploitations y ont leur siège. Les exploitations sont de grande dimension pour le département des Vosges avec une moyenne de 87 ha. Le système de production le plus répandu est celui de la polyculture-élevage. Les productions dominantes étant le lait et les céréales.

Les événements principaux ayant affecté, dans les 25 dernières années, les exploitations sont les suivantes :

- 1970-72 : introduction des premières cultures de maïs
- 1975-79 : installation de systèmes viande dans les exploitations
- 1980 : introduction de la culture de colza
- 1985 : mise en place des quotas laitiers
- 1987 : se pose la question des nitrates.

Les programmes AGREV 1 et 2 ont permis de disposer d'informations nombreuses et précises sur les exploitations (typologie de leur fonctionnement, systèmes de culture et d'élevage), sur le milieu (carte agro-pédologique au 1/25.000), sur les systèmes d'encadrement économique et professionnel de l'agriculture et sur les structures sociales dans le site (cf. l'ouvrage collectif : Agriculture et qualité des eaux. Diagnostic et propositions pour un périmètre de protection. INRA, 1993, 334 p.)

La Société Vittel-Nestlé a souhaité engager la mise en place de boisements dès l'hiver 1995. Pour cela elle a passé convention avec l'ONF dans le but de réaliser quatre types de boisement :

- Un boisement en plein d'une quinzaine d'hectares de parcelles agricoles contiguës.
- des implantations de haies "brise vent" et de haies d'ornement

- la restauration et la gestion d'une ripisylve le long d'un des ruisseaux du site protégé.
- l'aménagement d'une zone agro-forestière à proximité du village de Ligneville.

Ces implantations se font sur des terres acquises par la Société qui détient actuellement environ 40 % des 3.600 ha de surface agricole utile du site.

La Société prévoit un programme de plantation sur plusieurs années. Les réunions préparatoires de ce programme de recherche se sont déroulées avec les responsables concernés de l'ONF.

III - La structure et l'organisation du programme

Dans l'état actuel des échanges entre les divers partenaires, la restructuration du programme de recherche présente trois volets qui ne sont pas indépendants et qui correspondent à trois points de vue sur le système agraire en question. Le boisement est analysé dans ses relations avec les acteurs, avec les activités et avec le milieu. Les niveaux spatiaux d'analyse variant selon les points de vue, de la placette forestière à la parcelle agricole, du bassin d'alimentation d'une source d'eau de subsurface à l'ensemble du périmètre de protection et de son environnement.

1 - Les boisements et le milieu physique et biologique

a) Les boisements des terres agricoles dans les bassins d'alimentation et leurs effets sur la qualité de l'eau.

Pour analyser l'effet des formations boisées sur la réduction des lixiviations des nitrates, deux démarches sont proposées.

- . une enquête menée sur divers bassins d'alimentation en Lorraine où la qualité de l'eau est connue et qui présentent une large gamme de taux de boisement. Parmi ces bassins, certains seront choisis pour y réaliser un suivi de la qualité de l'eau.
- . la mise en place expérimentale de différentes formes de plantation (en plein, en haies...) sur un site suivi sur le long terme.

Choix des bassins d'alimentation de sources à enquêter

Le principe retenu est de choisir des situations les plus diverses possibles et d'inclure les bassins des sources de surface du périmètre de Vittel. Deux variables sont retenues pour guider ce choix :

- les sols : Rarsts du Dogger, argiles du Plateau Lorrain, grès des Vosges nous semblent des situations intéressantes à retenir,
- la part et le type des formations boisées : depuis des bassins entièrement forestiers jusqu'à des bassins très agricoles, des bois compacts à des formations de haies.

Le premier travail réalisé par Gersende FIZAINÉ s'inscrit dans cette perspective. La carte réalisée en 1994 par Camille DUPOUX et Luca MUSEMI est une première approche sur les bassins de Vittel.

Ce travail permettra de mesurer le poids du milieu, de la part de forêt/agriculture, du type de boisement sur la qualité des eaux dans une gamme large de situations dont celles déjà bien instruites des 18 bassins suivis sur le site de Vittel.

Une typologie des bassins sera élaborée. Quelques bassins par type feront l'objet d'un suivi plus intense de la qualité de l'eau (bimensuel en 1995) et d'une qualification plus précise des formations forestières et des systèmes de culture en place.

Choix de sites expérimentaux pour suivre l'effet des plantations d'arbres

Le critère essentiel nous paraît être la sécurité d'acquisition de données sur le long terme. En effet, le suivi de sites plantés nécessite du temps long pour faire apparaître les

évolutions de la qualité d'eau, et de la production (forestière et agricole). La sécurité foncière, ou à tout le moins, un accès permanent aux sites sur plusieurs décennies est à rechercher.

S'appuyant sur quelques parcelles bien caractérisées au départ (sol, passé cultural), le dispositif visera à comparer des formes de boisements différents. Ces formes devront répondre à deux exigences :

- être adaptées à leur environnement agricole et paysager : ne pas compromettre l'avenir agricole des parcelles voisines et maintenir une certaine qualité du paysage (éviter une fermeture excessive par exemple),
- être adaptées au milieu.

Proposition de travail

- Le premier travail "enquêtes de bassins" serait confié à un étudiant en D.E.A. en 1995.
- La réflexion sur le choix des sites à instrumenter et le type d'instrumentation sur le long terme sera conduite en 1995 pour permettre des équipements à l'automne 1995.
- A ce travail il est prévu d'associer des compétences en "écophysiologie".

Groupe de travail : M. BENOIT, J. RANGER (INRA), F. GRAS (CNRS) et des collègues de l'équipe AUSSENAC-GRANIER (INRA).

b) Etudes des conditions de création d'un "état boisé" sur des terres agricoles.

L'étude vise à étudier les conditions d'implantation de placettes boisées sous contraintes et finalités particulières :

- pas d'utilisation d'herbicides
- augmentation de la biodiversité
- protection contre les cervidés
- éviter le développement de parasites des cultures (feu bactérien notamment)
- éviter la pullulation des petits rongeurs.

Quelques placettes seront implantées dans deux situations contrastées (sols, histoire culturale) dans le site du boisement réalisé en 1995. Trois essences seront privilégiées : le hêtre, l'érable et le merisier. D'autres placettes seront à envisager dans le cadre des programmes ultérieurs de boisement.

Sous ces placettes seront installées des sites de bougies poreuses afin de suivre les conditions des lixiviation des nitrates lorsque l'on passe d'une situation sous système de cultures à une situation sous système forestier. Un site sera installé sous une placette à très forte densité de plantation.

Les effets sur l'écophysiologie des arbres implantés dans des sites contrastés seront analysés.

Groupe de travail : H. FROCHOT, M. VERNIER (INRA), O. ROGER (ONF), P. GIRAUDOUX (Laboratoire d'écologie de l'Université de Bourgogne) D. BARTELEMY (CIRARD).

c) Les boisements et la biodiversité

Etude des variations de la biodiversité à travers la restructuration paysagère du Plateau de Vittel.

- Evaluation de l'état actuel
 - . évaluation de la biodiversité écosystémique et spécifique végétale
 - . capacité à héberger divers types fonctionnels animaux :
 - groupes fonctionnels présents
 - hébergement permanent
 - hébergement de transit
 - groupes non représentés mais existant par ailleurs à l'échelle régionale.
 - . propositions pour les futures plantations

- localisation (élaboration de corridors)
- composition
- forme, structure...

- Elaboration d'un protocole de suivi de l'évolution de la biodiversité
 - . détermination de zones "test" pour le suivi
 - . recherche de bio-indicateurs au sein des groupes fonctionnels représentés ou qui devraient être présents
 - . protocole de suivi de ces populations de bio-indicateurs
 - . analyse des modifications de la diversité spécifique végétale
 - . modalités pratiques du suivi (fréquence des observations, équipes mobilisées, devis des coûts...).

Groupe de travail : J.C. RAMEAU , GRANJEAN (ENGREF).

2 - Les boisements et les activités agricoles

a) Analyse au niveau des exploitations agricoles

Ce volet consiste en l'étude des effets de différents types de boisement sur le fonctionnement technique et économique des exploitations. L'étude portera sur quelques exploitations qui sont dans des situations contrastées pour ce qui est des boisements existants et envisagés, et au regard des systèmes de production.

Deux monographies ont d'ores et déjà été réalisées à partir desquelles sera proposé un protocole de suivi. Les rubriques prévues sont les suivantes :

- Historique des formes arborées dans l'exploitation
- L'arbre et les productions végétales et animales
- L'arbre et la gestion du travail
- L'arbre et les relations sociales
- Image que se font les agriculteurs des diverses formes de boisement.

Les analyses se feront principalement dans les exploitations sur le territoire desquelles sont et seront programmés des boisements.

Groupe de travail : E. CHIA, J.P. DEFFONTAINES, M. BARBIER, M. GAFSY (INRA) en relation avec l'équipe de l'ONF et Ph. Pierre de AGRIVAIR.

b) Analyse du "système verger"

Les vergers, dont ceux de mirabelliers, sont des constantes des paysages lorrains, en ligne sur ados, en plein champ ou en désordre sur prés dans l'environnement des villages. Ces vergers font partie de la culture locale, leur production étant le fait aussi bien d'agriculteurs que de non agriculteurs.

Le travail abordera trois aspects du "système-verger".

Un aspect descriptif : repérer, identifier et caractériser les vergers, puis décrire sur le long terme les états successifs du système-verger.

Un aspect fonctionnel : quelles utilisations étaient faites, et est actuellement faite de ces vergers, comment s'inséraient-ils et s'insèrent-ils dans le fonctionnement des exploitations agricoles qui en possèdent toujours ?

Un aspect "ethnologique" : quelle perception a-t-on et avait-on localement des vergers, quelle était, et quelle est toujours leur place au sein de la société rurale ?

Les méthodes utilisées sont de trois types :

dépouillement de statistiques agricoles (principalement enquêtes agricoles puis recensements généraux de l'agriculture)

travail de localisation à partir de reconstitutions de paysages cadastraux, de plans anciens, puis de photo-interprétation (l'utilisation de la télédétection peut être envisagée).
enquête sur le site auprès d'anciens et actuels possesseurs de vergers.

Un aspect prospectif de ce volet "verger" consistera en suivi de parcelles pâturées complantées à faible densité. Une placette sera mise en place en hiver 1995 à proximité du village de Ligneville.

Groupe de travail : J.L. MAIGROT (INRA-ENESAD), M. BENOIT (INRA), J.L. GUITTON (CEMAGREF) et un élève ingénieur d'agronomie.

3 - Les boisements et les acteurs

Elaboration d'un outil d'analyse des représentations qu'ont divers acteurs de la restructuration paysagère du site.

Ce volet du programme vise à valoriser les compétences du laboratoire d'architecture des arbres du CIRAD pour réaliser à partir du SIG disponible sur le site et des logiciels existant une "visualisation paysagère" des boisements sur divers pas de temps.

Le but est d'utiliser cette visualisation pour connaître les points de vue des acteurs (la Société, les agriculteurs, les autres acteurs concernés) sur les boisements.

Une application particulière est envisagée relative au tracé d'un itinéraire piétonnier le long d'un cours d'eau du site (le ruisseau de Belle fontaine) qui respecte trois types de fonctions :

- . la fonction pastorale des parcelles agricoles en bordure du cours d'eau,
- . la fonction de contribution à la qualité de l'eau (ripisylve),
- . la fonction touristique et pédagogique du bord de rivière dans un site où il est recherché de développer auprès des visiteurs une image de qualité de l'eau.

- Groupe de travail : R. LECOUSTRE (CIRAD). Il est prévu la collaboration d'un collègue sociologue et d'un chercheur de l'ENSH.

Des rapports d'étape sont envisagés pour fin 1995. Divers résultats seront fournis en 1997, d'autres, soumis à des suivis de longue durée, exigeant un délai plus long.

Les moyens financiers des diverses parties constitutives du programme n'ont pas été évalués à ce jour.

IV - Les enjeux

Le site protégé apparaît, pour la recherche, comme un observatoire remarquable pour évaluer les conséquences du boisement sous des formes diverses, notamment sur des terres agricoles (ce dernier phénomène s'amplifiant dans les pays de l'Europe de l'Ouest) et dans un contexte particulier de développement local de l'agriculture.

Pour la Société il semble que ce programme puisse contribuer aux objectifs qu'elle poursuit en matière de qualité de l'eau et compléter l'image d'un site agricole vert, producteur d'eau minérale, avec celle d'un lieu où se déroule des recherches originales sur la qualité d'un milieu écologique et paysager.

Structures linéaires boisées : environnement physique et agronomique, méthodes et perspectives d'étude des transferts

Philippe Mérot, Sandrine Reyne, Jacques Baudry

INRA – Unité de Science du sol et de bioclimatologie
ENSA, 65 rte de Saint Brieuc 35042 Rennes Cedex
Tél. 99 28 54 22 – Fax 99 28 54 30

Dans le cadre d'une réflexion sur l'impact du boisement en masse ou linéaire sur le cycle de l'eau, cette synthèse se donne pour principaux objectifs de :

- réaliser un bilan des connaissances et des cadres théoriques de réflexion disponibles dans le domaine du milieu physique;
- dégager des propositions de recherche qui s'appuient sur les outils et les concepts récemment développés.

La recherche bibliographique présentée ici s'est appuyée sur la littérature française et étrangère. Cependant, la réflexion que nous proposons de mener est centrée sur les Structures Linéaires Boisées* des zones tempérées humides de l'Ouest de l'Europe, pour des raisons opérationnelles mais surtout pour des raisons de fond : les conditions environnementales (climatiques, topographiques, hydrologiques) d'autres régions, méditerranéennes ou continentales, nous semblent assez différentes pour que la hiérarchie des processus en jeu ne soit ni transposable, ni extrapolable.

En premier lieu, la bibliographie consultée permettra un tour d'horizon des principaux processus dans lesquels les Structures Linéaires Boisées sont susceptibles d'intervenir. Dans ce cadre, on précisera les propriétés des SLB et des structures proches d'origine anthropique (bandes herbeuses) ou naturelles (ripisylvies, lisières) développées en fonction des processus mis en jeu.

Un deuxième volet détaillera les méthodologies mises en oeuvre dans les différents axes de recherche associant SLB, sol, hydrologie et géochimie.

C'est dans la dernière partie que les propositions de recherche seront dégagées en fonction des connaissances et des outils actuels, dans une optique de projets à court et moyen terme.

*Dans le contexte breton, les Structures Linéaires Boisées (SLB) incluent les haies bocagères de versant, mais également des structures spécifiques comme les ceintures de bas-fond et les ripisylvies, corridors boisés le long des cours d'eau.

I.-DES STRUCTURES A ROLE SPECIFIQUE, EN REPONSE A UN PROCESSUS.

Haies, ripisylvies, bandes herbeuses, lisières forestières, terrasses... Sous toutes les latitudes, des structures naturelles ou d'origine anthropique ont répondu spécifiquement à des besoins des utilisateurs du milieu rural. L'exemple de rôle qui vient le plus aisément à l'esprit est celui des haies brise-vent ou des terrasses anti-érosives. Plus généralement, ces différentes organisations sont associées à un ensemble de processus dépendants des conditions de milieu, repris sur la figure 1.1. ci-dessous.

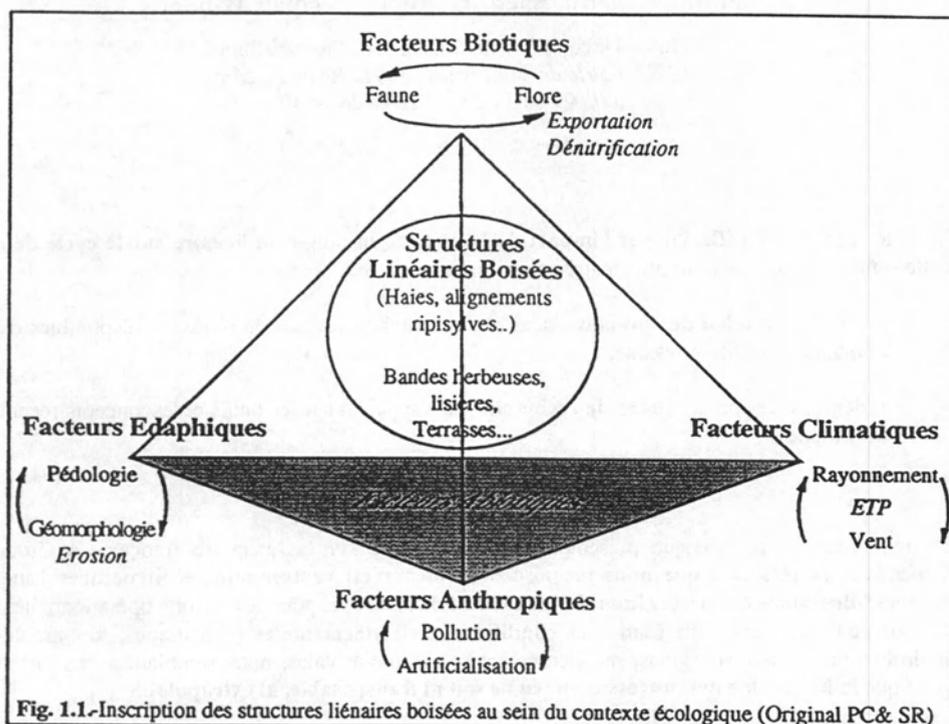


Fig. 1.1.-Inscription des structures linéaires boisées au sein du contexte écologique (Original PC& SR)

I.1.-DES DIFFERENTS ROLES DES HAIES

● UN ROLE DE PREMIER PLAN DANS LES APPROCHES BIOCLIMATIQUES.

On pourrait presque parler d'une "Ecole Polonaise" spécialisée dans une approche bioclimatique originale de fonctionnement de la haie au sein de l'agro-écosystème. RYSZKOWSKI & KEDZIORA (1987), RYSZKOWSKI (1989) et KEDZIORA *et al.* (1989) ciblent leur recherche sur l'utilisation de l'énergie solaire par les haies et les conséquences sur le cycle de l'eau. Il ressort du suivi des paramètres bioclimatiques en fonction du couvert végétal que les haies se comportent comme de véritables "mèches" de par leur forte évapo-transpiration, et que cette action directe sur le cycle de l'eau ne peut pas rester sans effet sur la solution du sol, donc sur les cycles de nutriments.

● DE L'AGRO-FORESTERIE AUX CULTURES EN BANDES : QUELS APPORTS AUX CULTURES?

De nombreux travaux se sont intéressés aux interactions entre végétaux ligneux et végétaux herbacés dans le cadre de systèmes de culture particuliers comme les systèmes agro-forestiers ou les

cultures en bandes à l'abri de haies basses. Ces études dégagent souvent simultanément un bénéfice net pour les cultures, qui sans haies ni arbres seraient soumises à de trop fortes contraintes, et un phénomène de compétition pour l'eau, la lumière et les nutriments.

On retrouve cette double approche chez SADANANDAN NAMBIAR & SANDS (1993) qui évoquent les problèmes de compétition inter-spécifique entre herbacées et ligneuses en milieu forestier et dans les systèmes agro-forestiers, puis proposent des modes de gestion. C'est un objet de recherche classique en agro-foresterie, ensemble de pratiques basées sur une gestion parallèle et équilibrée entre pâturages et arbres. Les pratiques de gestion de l'arbre peuvent être intéressantes à considérer dans un contexte bocager (taille et exportation d'une part de la biomasse, effet de la litière...), ou dans des pratiques de cultures en bandes associées à des haies basses. De même, KORWAR & RADDER (1994), proposent de limiter la compétition pour l'eau en taillant régulièrement les ligneux, voire en élaguant les racines. Rappelons que la taille et son utilisation en bois de feu a été une conduite traditionnelle dans le bocage breton.

L'effet améliorant de la litière de certaines espèces est repris par SWAMI RAO (1988) et PATIL (1988) dans leurs travaux sur les cultures associées en Inde. Différents travaux (HULUGALLE & NDI, 1994 ; LAL, 1989) essaient de quantifier les effets directs des haies sur certaines propriétés du sol comme la capacité d'échange et l'infiltrabilité : il en ressort que les apports par la litière sont favorablement décisifs pour les rendements dans des sols où le turn-over de la matière organique est très rapide. Les aspects positifs des apports de matière organique à la fois en terme d'éléments minéralisables et de rétention d'eau se retrouvent dans les travaux de SSEKABEMBE *et al.* (1994), qui mettent par ailleurs en avant une moindre compétition entre cultures et arbres si l'enracinement de ces derniers est profond et non limité par la pierrosité.

En milieu cultivé, les haies sont également étudiées comme brise-vent, et par suite comme des structures à effet positif sur la réserve en eau des sols: Les travaux de DING GUIFANG & ZHANG YUHUA, CHEN XIQUAN *et al.* en climat de mousson montrent que les haies conservent l'humidité du sol en atténuant l'effet desséchant des vents chargés de sable. Les effets positifs sur la réserve utile des sols sont inversement proportionnels à la distance à la haie, sous réserve cependant d'une forte compétition aux abords immédiats. C'est sur cette double aptitude que SUN & DICKINSON (1994) dégagent les effets de l'atténuation du vent sur les rendements en pommes de terre, dans des systèmes de culture en bandes à l'abri de haies basses.

⊙ DES HAIES COMME FILTRES GEOCHIMIQUES.

Ce rôle des SLB est particulièrement intéressant dans le contexte régional qui nous concerne, et son étude implique de préciser le rôle hydrologique des haies. Parmi les recherches menées en Bretagne, citons les travaux de CARNET (1978) à l'échelle du versant et de MEROT (1978) à l'échelle du bassin versant. Cette approche "sol" innovante mais complexe a été reprise dans les années 90 (MEROT & BRUNEAU, 1993) suite à l'apparition de nouveaux outils de modélisation, mais de nombreux aspects restent à développer.

L'effet de filtre proprement dit apparaît vis-à-vis de nutriments comme l'azote et le phosphore (KNAUER & MANDER, 1989 ; RYSZKOWSKI, 1989 ; RYSZKOWSKI *et al.*, 1989 ; SZPAKOWSKA & ZYCZYNSKA-BALONIAK, 1994). Cependant, les structures impliquées efficacement dans l'épuration se rapprochent déjà plus de bandes boisées que des haies rencontrées dans le bocage breton. Il en va de même dans les travaux de SZPAKOWSKA & ZYCZYNSKA-BALONIAK (1994) sur la migration de substances humiques.

Vis-à-vis des métaux lourds, KNAUER & MANDER (1990) mettent en évidence une fixation différentielle des métaux en fonction des formations végétales, avec une efficacité intéressante de bandes boisées d'aulnes pour le plomb et le chrome. Là encore, la largeur de la formation, y compris celle de l'aulnaie, est prépondérante.

Enfin, un effet épurateur vis-à-vis des produits phytosanitaires est abordé par des auteurs comme DAVIS *et al.* (1994) qui suivent la dispersion d'un herbicide et d'un pesticide en fonction de la distance à une haie : ils suggèrent dans ce type d'approche, d'associer aux capacités d'atténuation de la haie des critères descriptifs de sa structure et de son organisation. Des méthodes plus quantitatives ont aussi été conduites *ex situ* pour évaluer la capacité de prélèvement d'un herbicide par les végétaux et

son devenir dans la plante (NAIR *et al.*, 1993) ; les prélèvements d'atrazine marquée par des peupliers en bio-réacteurs semblent directement liés à la texture du sol.

⊙ LES HAIES, ELEMENTS POLYVALENTS (OMNIPOTENTS?) DU PAYSAGE.

Plusieurs articles de la bibliographie (SCHAEFER, 1988 ; SHATALOV, 1988) décrivent les haies comme des éléments polyvalents essentiels de l'aménagement des bassins versants, pour lutter à la fois contre sécheresse, érosion et pollution des eaux. D'autres articles synthétiques (STEPANOV & MALANINA, 1988 ; PEEV, 1988) sont de véritables hagiographies des haies, sans que les méthodes d'étude ou les résultats soient clairement explicités. Les haies ont un rôle globalement positif dans leurs fonctions micro-climatiques, hydrologiques, sanitaires, esthétiques...sans que ces multiples qualités ne soient justifiées autrement que par des observations ponctuelles.

L2.-AUTRES ROLES, AUTRES STRUCTURES.

Dans cette partie, on insistera sur les ripisylves associées à des SLB, et on développera brièvement les structures voisines que l'on peut rencontrer dans le contexte des zones tempérées humides.

⊙ LES RIPISYLVES

Ripisylves, franges ou forêts rivulaires, cette terminologie décrit des formations boisées développées en zone de bas-fonds en parallèle des berges de cours d'eau. Cette implantation particulière à l'interface eaux superficielles/eaux souterraines a motivé de nombreuses recherches et un récent travail de synthèse (DECONCHAT & BALENT, 1993) axés sur les capacités de stockage, voire d'épuration des nutriments transportés de l'amont par le biais de ruissellement hypodermique (éléments solubles comme les nitrates) ou du ruissellement superficiel (matières humiques en suspension, phosphates). Si les quantités ruissellées sont non négligeables (PETERJOHN & CORRELL, 1984 ; VOUGHT *et al.*, 1991), les capacités d'épuration sont variables en fonction de la saison (PINAY *et al.*, 1993) mais aussi de la géomorphologie, du micro-relief des zones rivulaires (PINAY *et al.*, 1989), facteurs qui influent sur le degré d'engorgement et donc sur l'activité de la flore du sol et sur les prélèvements par la biomasse aérienne. La géomorphologie conditionne également un rôle alternatif source/puits vis-à-vis des nutriments et du carbone, et des potentiels de dénitrification variables en fonction des dépôts autorisés par la vitesse du courant (PINAY *et al.*, 1992)

En général, les études sur les ripisylves débouchent sur des propositions d'aménagement dans lesquelles la largeur de la ripisylve est décisive pour optimiser l'épuration. Plusieurs auteurs (KNAUER & MANDER, 1989 ; VOUGHT *et al.*, 1991 ; RYSZKOWSKI & KEDZIORA, 1993) avancent une largeur d'une dizaine de mètres. PETERJOHN & CORRELL (1984) qui travaillent à l'échelle d'un bassin versant élémentaire de 3 ha, comparent les prélèvements d'une bande rivulaire de cinquante mètres de large avec celle des cultures. PINAY *et al.* (1993) avancent des largeurs d'une trentaine de mètres. HAYCOCK *et al.* (1993) insistent sur l'efficacité maximale en lisière de bande boisée, dans les cinq premiers mètres. Quoiqu'il en soit, ces largeurs efficaces sont à rattacher aux surfaces drainées et au type d'occupation du sol, ce qui n'apparaît pas toujours nettement dans les publications. Les démarches suivies dans l'étude des ripisylves sont cependant intéressantes dans la mesure où certaines peuvent être appliquées à des SLB comme les haies.

⊙ BANDES HERBEUSES ET ZONES HUMIDES

Sous le terme de bandes herbeuses, les auteurs regroupent en fait des prairies semées (HAYCOCK & PINAY, 1993 ; SZPAKOWSKA & ZYCZYNSKA-BALONIAK, 1994) ou des prairies humides permanentes (KNAUER & MANDER, 1990). Le plus souvent, ces différents travaux comparent l'efficacité des surfaces en herbe avec des surfaces boisées, et concluent à de moindres prélèvements des surfaces herbeuses, ce qui peut s'expliquer par une moindre exportation pour la biomasse aérienne. Cependant, leur intérêt épurateur et saisonnier dans une mosaïque de cultures demeure, notamment dans les prélèvements de phosphore (OSBORNE & KOVACIC, 1993, cités dans DECONCHAT & BALENT, 1993). Dans la partie du Référentiel Pédologique (1992) réservée aux sols colluviaux, il est

conseillé de conserver ces cultures pérennes sur les sols d'amont de haies afin de garantir la qualité des eaux contre la pollution agricole diffuse.

Les travaux se sont par ailleurs multipliés sur les zones humides en tant que structure épuratrice. La synthèse de CHARBEAUX (1994) reprend les principaux éléments susceptibles d'y être stockés et/ou transformés. Souvent localisées en position topographique basse, ces zones humides pourront être intégrées dans une démarche de compréhension globale du rôle des SLB sur un versant : en effet, les haies de bas-fonds accentuent souvent la limite entre zones saturées et zones drainées de versant.

④ LISIÈRES ET FORÊTS ALLUVIALES

L'intérêt des lisières forestières se résume le plus souvent à un effet épurateur de l'atmosphère : DRAAIJERS *et al.* (1988) suivent l'évolution des teneurs de marqueurs (comme les ions sodium et chlorure) et de différents polluants atmosphériques en fonction de la distance à la lisière sous le vent. L'effet atténuateur en fonction de la distance à la marge est net et confirmé par les travaux sur les éléments soufrés ou azotés de HASSELROT & GRENFELT (1987), BEIER & GUNDERSEN, (1989), BEIER (1991), NEAL *et al.* (1992).

Les forêts alluviales, formations végétales très spécifiques et complexes de par les associations végétales qui s'y développent selon un gradient d'engorgement, constituent un site privilégié pour l'étude des zones d'échange entre écosystèmes terrestres et aquatiques, sur des cours d'eau déjà importants. TREMOLIERES *et al.* (1991) mettent en avant le rôle primordial de ces formations dans l'épuration des nappes souterraines. Cependant, des forêts à haute productivité comme les forêts alluviales *stricto sensu* se rencontrent assez peu dans le paysage breton.

EN CONCLUSION...

Il ressort de ce premier tour d'horizon que chaque structure répond à une contrainte précise du milieu, d'autant plus spécifiquement que son origine est anthropique. C'est le cas notamment des haies anti-érosives et brise-vent, ce dernier rôle étant d'ailleurs à l'origine de l'essentiel des recherches sur les haies au sens strict.

Les travaux les plus avancés s'inscrivent dans un contexte de systèmes de production, cultures en bandes ou agroforesterie. La valorisation environnementale des SLB dans les zones tempérées est aujourd'hui centrée sur leur capacité de réduction des pollutions diffuses. Du fait d'un certain empirisme et des changements brutaux intervenus dans les dernières décennies, moult propriétés sont associées aux SLB, mais les études quantitatives manquent, notamment dans le domaine hydrologique à différentes échelles d'intégration et dans le domaine géochimique.

La plupart des méthodes quantitatives sont développées sur des formations complexes comme les forêts rivulaires ou les zones humides, le fil directeur des propositions d'aménagement étant la notion de "largeur efficace". On pourra donc s'interroger sur la possibilité de les étendre aux structures linéaires rencontrées dans le bocage.

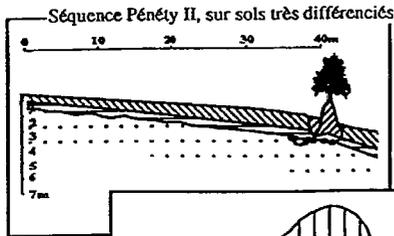
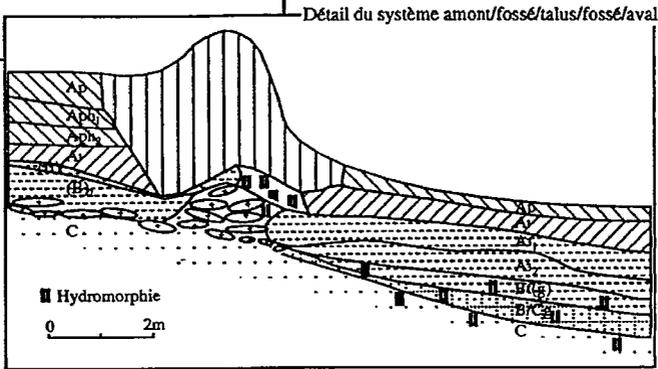


Fig. 2.1.-Démarche générale suivie par CARNET (1978) dans son approche du rôle du bocage sur les sols et leurs régimes hydriques.



HYDROMORPHIE

Les parois damées de l'ancien fossé accumulent d'importantes quantités d'eau et engorgent les volumes voisins.

DISTRIBUTION DES ORGANISATIONS PEDOLOGIQUES EN FONCTION DES TALUS/FOSSES

Méthodologie

- Suivi des variations des caractères pédologiques de part et d'autre du système amont/fossé/talus/aval
 - épaisseur des horizons & texture
 - densités apparentes & perméabilités Vergière
- Analyse de la sédimentation des fossés

Conclusions essentielles

- Interruption nette de la séquence de sols entre l'amont et l'aval
 - Horizons organiques plus épais à l'amont
 - Texture des horizons héli-organiques à l'aval peu différente de la texture des horizons minéraux amont
 - Pour un même horizon,
 - Densité apparente AMONT < Densité apparente AVAL
 - Perméabilités plus élevées en AVAL (Colmatage)
- Erosion différentielle : tri des argiles et des limons fins accumulés en amont des haies : pas de perte définitive hors versant

Remarques...

- Les talus perpendiculaires sont associés à des limites pédologiques ou géologiques : empirisme dans l'implantation des haies, mais aussi hypothèse que les volumes pédologiques soient liés à une rupture antérieure aux haies/talus/fossé.
- Problème de la généralisation aux talus obliques (haies dans le sens de la pente considérés sans effet sur la circulation de l'eau...)

ETUDE DU REGIME HYDRIQUE EN FONCTION DES TALUS/FOSSES

Méthodologie

- Suivi des humidités volumiques en fonction de la saison (bilan hydrique selon données locales), et selon une gamme de pF (2, 2.5, 3, 3.7, 3.9 et 4.2)
- Calcul des quantités d'eau stockées par horizon. Les variations stocks permettent de déduire des flux :
 - négatifs : il y a déficit par ruissellement ou drainage vers l'aval
 - positifs : il y a excès et apport par drainage oblique ou ruissellement de l'amont
 - nuls : il y a stockage.

Conclusions essentielles

- Confirmation du rôle des talus comme barrage contre l'érosion
- PROBABLEMENT, rôle de drain vertical lié au système racinaire : limitation du drainage oblique
- Rôle évaporatoire + écran par rapport aux pluies

Remarque...

- Quelles sont les redistributions entre l'amont et l'aval : il est difficile d'avancer des hypothèses de passage d'un volume du talus vers l'autre comme dans le cas des versants...

II.-QUELLES BASES SCIENTIFIQUES POUR QUELLES PROBLEMATIQUES?

L'objectif de cette deuxième partie est de recenser les bases scientifiques des différents points précédemment développés, en mettant en avant les méthodologies. On précisera l'échelle, les apports ou les limites des méthodes actuellement disponibles sur les fonctions hydrologiques et hydrochimiques du bocage et plus généralement des SLB.

II.1.-CARACTERISATION DES VOLUMES PEDOLOGIQUES.

○MORPHOLOGIE ET FONCTIONNEMENT HYDRIQUE

Dans de nombreuses publications, les caractéristiques des sols sont relativement peu développées, ce qui est paradoxal compte-tenu de leur rôle de premier plan et légitime au regard du type de recherche non orientée exclusivement "sol". C'est le cas notamment chez RYSZKOWSKI (1987 ; 1989) qui travaille sur "*des sols légers, présentant des conditions favorables à l'infiltration (...) et sur des sols tourbeux à capacité de rétention de l'eau relativement élevée.*"

A L'ECHELLE DU VERSANT ET DE LA SEQUENCE DE SOLS, CARNET (1978) s'est attachée à une description morphologique fine des volumes pédologiques de part et d'autre d'ensembles fossé-talus-haie. Des données physico-chimiques et des suivis du comportement physico-hydrrique lui ont permis d'élaborer une première série d'hypothèses quant aux modifications apportées sur le sol et la circulation de l'eau. L'essentiel de ces travaux et résultats qualitatifs et quantitatifs est repris sur la figure 2.1. ci-contre.

En terme de méthode, les observations ont été conduites sur des coupes transversales de haies perpendiculaires à la plus grande pente. CARNET fait l'hypothèse que *les talus parallèles à la pente n'ont probablement aucun rôle sur la distribution des sols, car ils ne sont pas des barrages à la circulation oblique de l'eau.* Par ailleurs, d'autres auteurs comme PINAY, avancent que la circulation le long des versants ne se fait pas selon le sens de la seule plus grande pente avec une circulation perpendiculaire au cours d'eau, mais de façon tangentielle en intégrant les plus grandes pentes du bassin. Cette double hypothèse sera intéressante à considérer dans l'évaluation de la valeur hydrologique des haies.

D'autre part, CARNET (1976, citée dans les comptes-rendus de la table ronde CNRS "Ecosystèmes Bocagers") met en avant des mesures de perméabilité différentes entre l'amont et l'aval d'un talus, les perméabilités inférieures à l'amont pouvant s'expliquer par un colmatage de la porosité par les éléments fins colluvions. L'étude morphologique a par ailleurs mis en évidence des plages hydromorphes au sein du talus, liées notamment à ces perméabilités différentielles, mesurées par la méthode VERGIERE. Si cette méthode donne des ordres de grandeur d'un volume à l'autre, elle ne peut être comparée avec des méthodes plus récentes de mesures *in situ*. Ces premières observations à l'interface circulation de l'eau/fonctionnement géochimique semblent intéressantes à approfondir.

Enfin, un certain hiatus persiste entre le fait que plusieurs auteurs évoquent une circulation verticale et une infiltration accentuée en amont des haies alors que le Référentiel Pédologique (1992) conseille d'associer aux sols colluviaux peu différenciés d'amont de haies des cultures moins polluantes pour parer aux circulations latérales, qu'il s'agisse de flux superficiels (ruissellements) ou plus profonds. Ceci confirme s'il en est besoin l'importance d'une caractérisation morphologique et hydrodynamique des volumes pédologiques peut apporter des réponses sur le degré de différenciation du profil.

Ces travaux, axés essentiellement sur le sol et son comportement hydrique, sont déjà anciens et n'ont pas été approfondis depuis la thèse de Chantal CARNET si ce n'est dans la thèse de M. BAFFET sur le bocage limousin, qui reprend les principales conclusions de CARNET. Une telle démarche morphologique qualitative assortie de données quantitatives est effectivement délicate sur un

milieu remanié comme un talus. Elle pose nombre de problèmes d'échantillonnage liés aux systèmes racinaires et à la représentativité des volumes dans les trois dimensions du talus. Elle reste cependant essentielle pour dégager des critères décisifs dans la compréhension des circulations d'eau à l'échelle du versant, voire même du bassin versant élémentaire.

③ FONCTIONNEMENT BIO- ET GEOCHIMIQUE...

...EN INTERACTION AVEC LES CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES DU SOL :

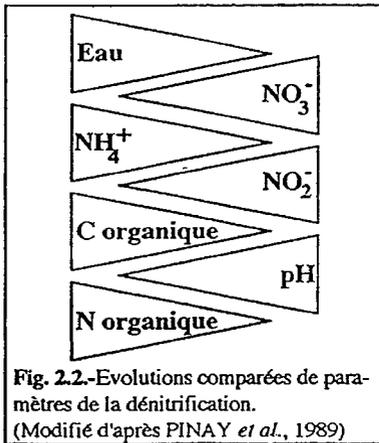


Fig. 2.2.-Evolutions comparées de paramètres de la dénitrification.

(Modifié d'après PINAY *et al.*, 1989)

un nombre réduit de propriétés du sol. Dans le cas de la dénitrification par exemple, les trois conditions nécessaires et suffisantes (anaérobiose, carbone assimilable par les bactéries dénitrifiantes et nitrate en quantité non limitante) dépendent d'un ensemble de caractéristiques du sol : la matière organique est localisée à certains volumes superficiels, l'anaérobiose peut être exacerbée par certains types de structure et non limitée à des conditions topographiques... La figure 2.2., extraite de PINAY *et al.* (1989), reprend l'évolution conjointe des paramètres essentiels impliqués dans la dénitrification. On y retrouve une interaction nette entre facteurs biotiques (formes de l'azote et carbone organique liés à l'activité de la microflore et aux apports de la biomasse aérienne) et facteurs abiotiques (teneur en eau, pH liés à des caractéristiques intrinsèques du sol).

C'est dans ce contexte d'interactions que BERGSTRÖM & BEAUCHAMP (1993), dans un modèle empirique, prédisent le taux de dénitrification en fonction de la teneur en eau du sol et de sa porosité, deux facteurs jugés décisifs sur la pression partielle en oxygène et par là même sur l'activité des bactéries dénitrifiantes. Le modèle appliqué au milieu cultivé répond partiellement à l'objectif, en dehors de variations saisonnières, les auteurs n'ayant pas considéré les variations des populations de micro-organismes.

D'autres travaux conduits sur des ripisylves (PINAY *et al.*, 1989), relient la teneur en eau à la porosité du sol : *des micro-sites saturés peuvent ainsi coexister avec des zones non saturées. C'est par exemple le cas des stations non saturées ou des microsites saturés présentent des conditions anaérobies.* Les auteurs s'intéressent à l'influence de l'engorgement de sols bruns lessivés sur les cycles du carbone et de l'azote, et suivent la teneur en eau mesurée à différentes profondeurs du sol. La capacité de rétention du sol étant dépendante de la texture et de la matière organique du sol, les auteurs s'intéressent aux degrés d'engorgement à différentes profondeurs et les rapportent à des mesures à pF 2 qui correspondent à un état ressuyé du sol. Les échantillons qui ont une teneur en eau supérieure à celle obtenue à la capacité au champ peuvent être considérés comme plus ou moins hydromorphes, et donc plus ou moins sujets à des processus anaérobies. On peut relever que l'étude est conduite sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs, mais non en fonction de volumes pédologiques décrits et caractérisés. Enfin, comme l'a montré PINAY (1986), c'est l'apport de nitrate qui est le facteur limitant des processus de dénitrification dans les zones immergées en permanence. La minéralisation de l'azote bloquée au stade NH_4 en anaérobiose limite la disponibilité en azote pour les organismes dénitrifiants.

Dans le même esprit, PINAY *et al.* (1994) comparent deux forêts rivulaires au même stade de végétation et de situations morphologiques quasi identiques. La différence porte sur la vitesse du courant qui n'autorise pas le même type de sédimentation. La granulométrie de la station où le courant est le moins rapide est marquée par des limons fins, celle où le courant est le plus rapide est marquée par des sables. Les dépôts sont plus importants dans ce dernier site, mais l'azote total déposé est plus important sur la station limoneuse (63.9g/m^2 contre 49.6g/m^2). Les taux de dénitrification annuels *in situ* sont trois fois plus élevés sur le site limoneux que sur le site sableux, et ont suffi à épurer environ 50% de l'azote déposé. Le site sableux a un taux de dénitrification *in situ* d'environ 10g-N/m^2 ,

et seuls 20% de l'azote déposé sont épurés. Ces résultats mettent en avant que le pourcentage d'azote total déposé dénitrifié annuellement est corrélée à la granulométrie des sédiments, liée à la géomorphologie du site.

Les méthodes de caractérisation précise des sols développés en milieu cultivé et dans des formations peu anthropisées sont d'un apport indéniable dans la compréhension de processus biochimiques. Par ailleurs, ces méthodes et cette échelle parcellaire peuvent être appliquées à l'étude des haies, d'autant plus que les caractéristiques édaphiques y sont très spécifiques (lessivage plus intense des talus, colluvionnement, volumes remaniés) et sans doute déterminantes dans les processus d'épuration.

...EN INTERACTION AVEC LA FLORE DU SOL ET LA BIOMASSE AERIENNE :

Dire que les relations sol/eau/plante sont primordiales dans le contexte qui nous intéresse est un lieu commun. Ces interactions se font à plusieurs niveaux : un niveau souterrain (microflore du sol ET systèmes racinaires des végétaux supérieurs) et un compartiment aérien (évapo-transpiration et constitution de la biomasse épigée). Le cycle des nutriments azotés est ainsi marqué par deux mécanismes : les prélèvements pour l'élaboration de biomasse ou "uptake" et la dénitrification par la microflore.

Dans le cadre des SLB, très peu de travaux se sont intéressés à l'interface sol/racine, qui paraît pourtant essentiel à considérer par les modifications apportées à la structure du sol et par les volumes explorés pour les prélèvements minéraux. On dispose certes de caractérisations pédologiques fines et d'une typologie phyto-écologique précise des haies et des talus américains (ROZE, 1976, citée dans les Tables Rondes CNRS "Ecosystèmes bocagers"). Le système racinaire apparaît brièvement dans les descriptions de la macroporosité, on en parle pudiquement dans les prélèvements d'eau et de nutriments, mais peu ont cherché à préciser ses rôles qualitatifs et quantitatifs, dont LUCAUD, du laboratoire de pédologie de Besançon.

Parmi les méthodes développées pour l'estimation des prélèvements par les végétaux supérieurs, TREMOLIERES *et al.* (1991) mettent en œuvre des analyses foliaires qui permettent un suivi saisonnier des éléments azotés et phosphorés au cours du cycle végétatif. Dans le cadre des forêts rivulaires, PINAY *et al.* (1993) insistent sur un point essentiel : *bien que la végétation des rives soit impliquée dans la rétention de l'azote par prélèvement, ceci constitue seulement une phase transitoire de rétention, une large part de cet azote retournant au sol sous forme de litière, surtout dans les forêts parvenues à un stade climacique. La dénitrification par les micro-organismes reste donc le processus clé.* Par ailleurs, il n'apparaît pas toujours clairement dans la bibliographie ce que l'on entend par capacité de stockage par les végétaux (HAYCOCK & PINAY, 1993), capacité mesurée par différence entre une concentration entrante et une concentration sortante. Ce stockage peut être transitoire notamment vis-à-vis du phosphore pour lequel il n'existe pas de consommation de luxe par les végétaux et une possibilité de relarguage avec les MES au cours d'épisodes climatiques intenses.

L'activité de la microflore du sol est essentiellement perçue quantitativement par le biais des taux de dénitrification mesurés *in* ou *ex situ*. Dans leur comparaison de deux sols rivulaires, AMBUS & LOWRANCE (1991) mettent en évidence que la majeure partie de la dénitrification se fait dans les deux premiers centimètres du sol, et que l'addition de nitrates révèle un potentiel largement supérieur au taux mesuré.

PINAY *et al.* (1993) multiplient les variables descriptives de l'activité dénitrifiante. Des aliquotes ont servi à déterminer les "Equivalents Glucose Extractible" considérés comme un index du carbone disponible. Le taux de dénitrification *in situ* est mesuré par inhibition à l'acétylène. (YOSHINARI & KNOWLES, 1976, cité dans la publication). Il est calculé comme le taux d'oxyde nitreux (N₂O) accumulé dans l'atmosphère de la carotte de sol entre 4 et 8 heures après l'apport d'acétylène. L'activité des enzymes dénitrifiantes a été mesurée en remaniant les échantillons et en les incubant dans des boîtes hermétiques pendant 8h à 10°C (température moyenne du sol). Le taux de dénitrification mensuel pour une station donnée a été estimé par régression multiple en utilisant les paramètres du sol mesurables mensuellement. Les auteurs mettent en œuvre le modèle MGLH sous SYSTAT. Les paramètres du sol sont notamment la teneur en eau, l'activité des enzymes dénitrifiantes, la teneur en nitrate ou en ammonium ou l'azote total, le potentiel de minéralisation de l'azote, les E.G.H.

Hormis les taux de dénitrification, les méthodes développées s'inscrivent souvent dans des approches de type boîte noire, où l'on compare apports et exportations d'éléments. Le système sol/plante a tout d'un "objet complexe", soumis de surcroît à un rythme saisonnier capital dans l'interprétation de la variabilité des processus, qu'il s'agisse de dénitrification ou de prélèvements racinaires. Dans le cas des haies comme des ripisylves, des mesures diachroniques *in situ* sont à privilégier.

II.2.-APPROCHE HYDROLOGIQUE : DE LA GEOMORPHOLOGIE A LA MICRO-TOPOGRAPHIE.

Plusieurs auteurs ont été conduits à aborder les flux d'eau et de matière, et à utiliser des concepts physiques qui rentrent habituellement dans le cadre de l'hydrologie. PINAY *et al* (1989) ont été amenés à décrire finement la topographie d'une zone rivulaire pour expliquer la variabilité observée dans la dynamique de l'azote et du carbone et sous-tendue par les successions végétales. Ce sont des variations micro-topographiques, de l'ordre de quelques centimètres qui conduisent à une variabilité en mosaïque des conditions de dénitrification, du fait des variations de la surface libre de la nappe. Cette étude sera suivie, à une autre échelle, de travaux sur l'influence de la géomorphologie (PINAY *et al.*, 1992 ; 1994) qui insisteront sur les caractéristiques propres aux cours d'eau (vitesse de courant) et sur l'importance des zones d'échanges entre la nappe de soutien du cours d'eau et l'eau de surface ou de sub-surface, dans une optique de continuité entre les différents compartiments d'eau. Cette interface appelée zone hyporhéique apparaît essentielle dans la dilution des solutés (VOUGHT *et al.*, 1991). L'extension des zones saturées, essentielle dans la régulation des flux (MEROT & BRUNEAU, 1993) est aussi sous le contrôle de la géomorphologie.

Avec les haies et les ripisylves comme objet d'étude, RYSKOWSKI & KEDZIORA (1993) abordent l'hydrologie à l'échelle du versant par le biais de leur approche climatologique. Partant de l'hypothèse que plus l'ETP est élevée, plus les effets de la formation végétale sur les flux d'eau des nappes sont importants, les auteurs se concentrent sur le rôle des écotones sur la concentration en substances chimiques de la nappe. La méthode mise en œuvre reprend les paramètres du flux hydrique (précipitation, ruissellement, évaporation, infiltration) et des propriétés du sol (conductivité, porosité efficace, profondeur de la couche aquifère). Ils en déduisent un flux journalier (J en m^3/j) tel que :

$$J = K * n_e * D(dh/dl)$$

K : conductivité hydraulique (m/j)
 n_e : porosité efficace de la couche aquifère (m^3/m^3)
 D : profondeur de l'aquifère (m)
 dh/dl : gradient hydraulique de la nappe (-)

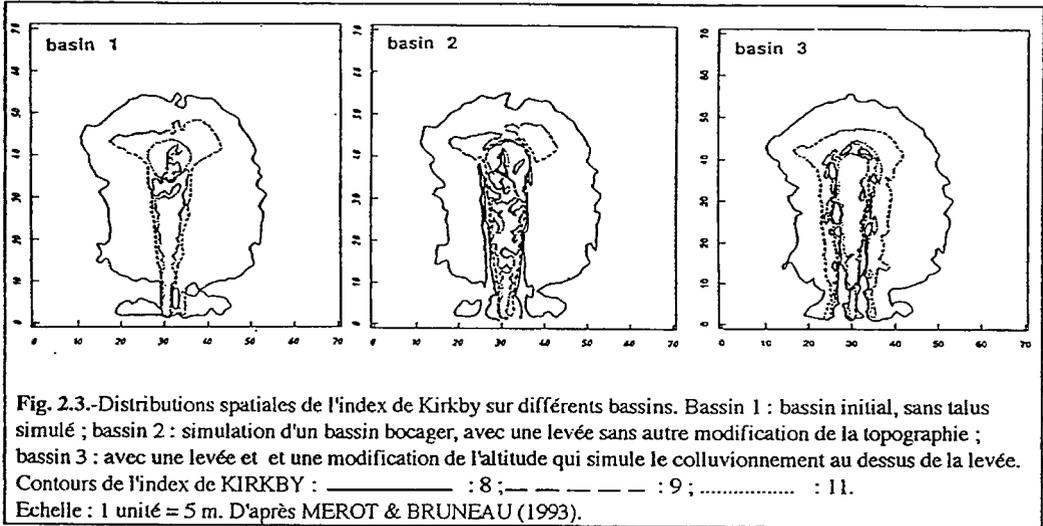
Par suite, RYSKOWSKI & KEDZIORA rajoutent à ce flux journalier dépendant de la pente (dh/dl) un taux d'ETP journalier et la largeur de la formation végétale, ce qui leur permet d'évaluer un coefficient "r" dit de "rabattement du flux souterrain". La valeur de "r" renseigne sur l'efficacité de la régulation des flux. Ainsi, par une journée ensoleillée et sur une pente accusée, une haie limite 1.5 fois plus le flux qu'une bande herbeuse car elle évapo-transpire plus ; par une journée nuageuse et sur une pente faible, les deux formations auront la même efficacité...

A l'échelle de bassins versants élémentaires bretons, les travaux de MEROT se sont orientés selon deux axes de recherche : la comparaison de deux bassins versants différents par leur état d'embocagement (1976, données non publiées) et plus récemment la modélisation de l'influence des haies sur le ruissellement de surface d'un bassin versant théorique (MEROT & BRUNEAU, 1993).

Avec la comparaison de deux bassins versants, on retrouve les préoccupations de RUELLAN (1976, cité dans les comptes-rendus des Tables Rondes CNRS "Ecosystèmes bocagers") qui conseille de privilégier l'échelle du petit bassin versant élémentaire, et de suivre soit deux bassins versants comparables en terme de milieu physique et d'occupation du sol mais différents par la densité des haies (...). MEROT (1978) démontre sur des bassins versants élémentaires granitiques l'influence du

bocage sur la régulation des crues. Il avance également des hypothèses sur une régulation hydrologique à des échelles de temps plus grande (soutien des étiages). Le talus de ceinture de bas-fond est la structure qui semble jouer un rôle primordial. Les suivis géochimiques de MEROT (non publiés) soulèvent la complexité des interactions entre variabilité géochimique et échelle de temps considérée (crue, récession, étiage...) selon le type de bassin bocager, mais ce sont de premiers éléments à préciser.

L'étude menée sur un modèle théorique de bassin bocager renseigne sur l'influence du bocage sur la probabilité de saturation des sols et donc sur leur aptitude à ruisseler. La figure 2.3. permet de visualiser un indice de saturation potentielle (l'index de KIRKBY) selon différents scénarios bocagers. Parmi les conclusions, MEROT & BRUNEAU confirment la limitation de l'extension des zones saturées des bas-fonds par les SBL, et un effet tampon sur les crues indépendant de l'intensité des pluies. Parmi les difficultés de la méthode pour des cas réels, les auteurs citent le problème du pas du MNT qui ne permet pas toujours d'intégrer efficacement les haies.



Les différentes études axées sur l'hydrologie mettent en avant une interdépendance nette entre le niveau topographique, la zone de battement de la nappe, le couvert végétal et l'évolution des stocks de nutriments. Il est évident que les diffusions de solutés en fonction des SLB passe par une meilleure connaissance de la dynamique superficielle et sub-superficielle de l'eau.

REFLEXIONS GENERALES...

Dans la plupart des articles, les auteurs avancent des "largeurs efficaces" pour l'épuration de tout ou partie de l'azote, du phosphore... Or, on dispose souvent de peu de détails sur ce qui se passe à l'amont de ces bandes boisées : quels sont les types d'apports et surtout leur quantité, à quelle longueur de pente et à quelle surface drainée correspondent-ils, trouve-t-on des SLB en amont sur ces pentes?... Une caractérisation plus précise du milieu semble nécessaire, comme celle fournie par SZPAKOWSKA & ZYCZYNSKA-BALONIAK (1994) dans leur suivi des migrations de substances humiques (carte de localisation précise des différentes zones tampons, plans d'échantillonnage...).

Les travaux manquent qui s'intéressent vraiment à l'impact des racines sur la morphologie du sol des talus. Cela semble pourtant prédominant à décrire qualitativement (orientations préférentielles? drainage?), ou quantitativement avant de s'intéresser à une morphologie fine des sols. Comment cet impact est-il susceptible de varier en fonction des espèces et de leur âge?

Les données de caractérisation des sols sont déjà anciennes et très ponctuelles. Or, une approche géologique et édaphique est à la base de l'analyse hydrologique globale. Il est important de mieux faire le lien entre organisation morphologique et caractéristiques hydrodynamiques des volumes pédologiques au droit des SBL.

Enfin, si les études hydrologiques ont permis d'identifier les fonctions du bocage, les conclusions ne permettent ni une quantification des impacts, ni une intégration à l'échelle de grands bassins versants.

Au préalable...

Liste des abréviations :

- A.C.P. : Analyse en Composantes Principales
- B.V.R.E. : Bassin Versant Représentatif Expérimental
- E.G.H. : Equivalents Glucose Extractibles
- E.T.P. : Evapo-Transpiration Potentielle
- M.E.S. : Matières En Suspension.
- M.N.T. : Modèle Numérique de Terrain.
- S.I.G. : Systèmes d'Information Géographiques.
- S.L.B. : Structures Linéaires Boisées.

Le texte en italique reprend littéralement des extraits de la bibliographie consultée.

III.-PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le bilan de cette recherche bibliographique fait apparaître 3 points marquants:

- un volume de travaux globalement très réduit sur les fonctions hydrologiques et géochimiques des SBL, parfois partiellement compensé par des recherches abondantes dans des domaines connexes.

Ce déficit est particulièrement net :

- sur la connaissance des processus géochimiques au droit des SBL.

- sur la quantification de l'impact des SBL sur les processus de régulation hydrologique.

Les propositions de recherche seront envisagées, en fonction notamment des nouveaux outils d'investigation disponibles (modélisation hydrologique distribuée, systèmes d'information géographique, capteurs *in situ*...). Il ne s'agit pas ici d'aller jusqu'à des perspectives d'aménagement mais de réfléchir à la problématique actuelle sur les fonctions de régulation.

III.1.-FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE ET BIOGEOCHIMIQUE D'UNE SBL

Il s'agit de développer *in situ* une étude expérimentale intensive, à l'échelle de la haie, visant 2 points qui seront développés ci dessous. Le choix du site s'appuiera sur la typologie déjà établie, en distinguant notamment les haies de versant, qui fonctionnent principalement en conditions non saturées, et les haies de ceinture de bas fond, qui sont en interaction étroite avec les nappes d'eau superficielles.

❶ APPROCHE HYDRODYNAMIQUE DU FONCTIONNEMENT DU SOL AU DROIT D'UNE SBL.

Celle-ci vise l'étude de l'influence de la SBL sur les caractéristiques structurales et hydrodynamiques des sols et sur les flux d'eau. Elle s'appuiera sur la caractérisation fine des sols par analyse structurale.

- la mesure des propriétés hydrodynamiques *in situ* ou sur échantillons non remaniés (conductivité hydraulique par la méthode de BOUMA (1981), sorptivité capillaire).

- le suivi en période humide de traceurs environnementaux de l'eau sur des courts transects perpendiculaires aux SBL et les recoupant. Ce travail s'appuiera sur les prélèvements de la solution du sol effectués par une batterie de dispositifs de prélèvements, associée à une batterie de tensiomètres.

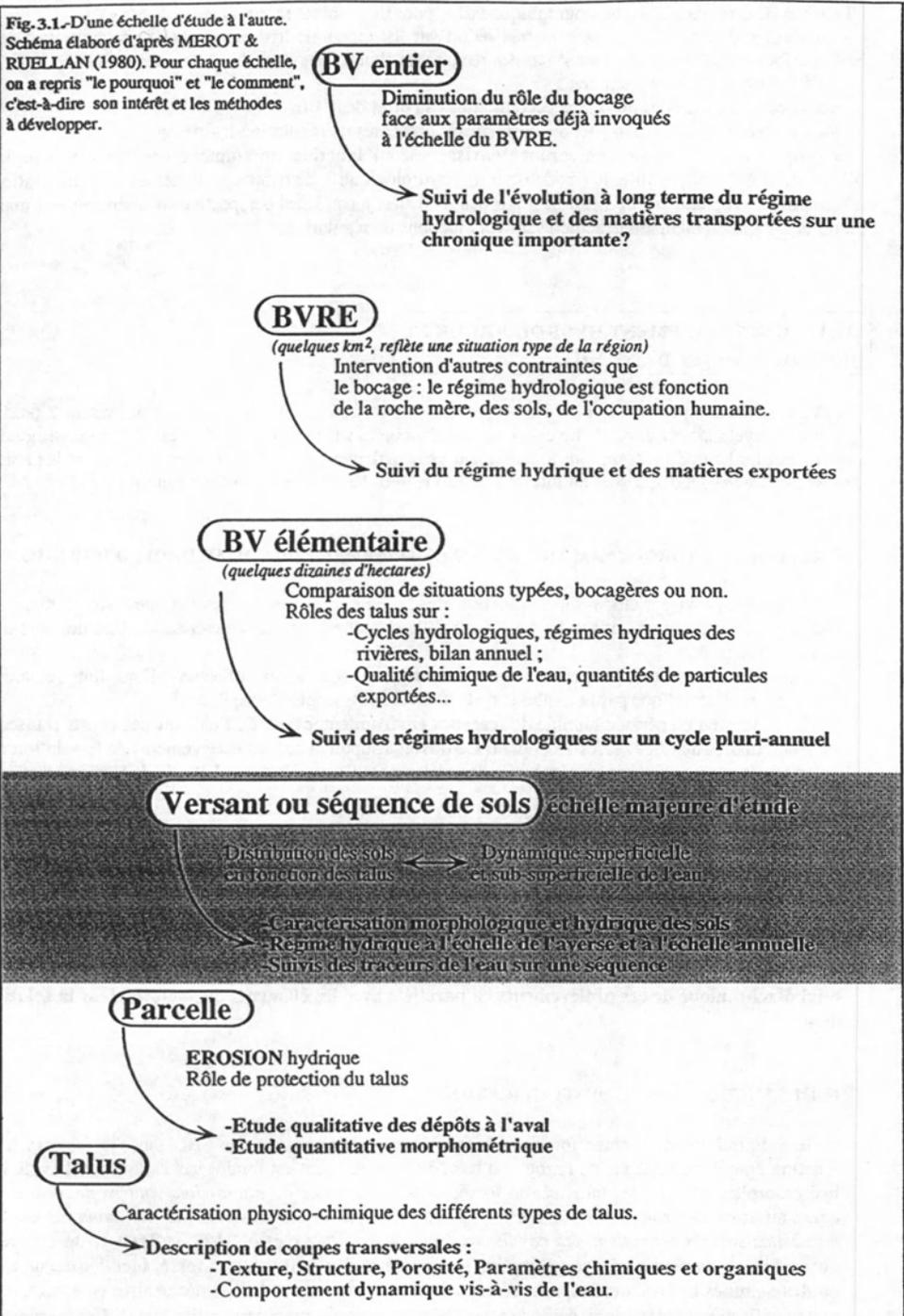
L'INTERFACE SOL-RACINE

Les travaux de LUCAUD mettent en avant l'étroite relation entre systèmes racinaires, circulations préférentielles de l'eau et hydromorphie ponctuelle. Ce point devra faire l'objet d'un suivi particulier. Pour l'estimer les prélèvements par les SLB, on pourra s'appuyer sur les techniques développées par TREMOLIERES *et al.* (1991) mettant en œuvre des analyses foliaires qui permettent un suivi saisonnier des éléments azotés et phosphorés au cours du cycle végétatif. On peut concevoir un suivi diachronique de ces prélèvements en parallèle avec les éléments disponibles dans la solution de sol.

❷ DES MICRO-SITES DE DENITRIFICATION

Parmi les différentes fonctions biogéochimiques supposées des SBL, on s'intéressera à la fonction épuratrice vis à vis de l'azote. La base du raisonnement est fondée sur l'existence de volumes hydromorphes au sein des talus et des fossés et sur l'existence de *micro-sites saturés peuvent ainsi coexister avec des zones non saturées. C'est par exemple le cas des stations non saturées ou des microsites saturés présentent des conditions anaérobies.* (PINAY *et al.*, 1993). Partant de ces deux observations, on peut envisager d'étudier les capacités dénitrifiantes du fossé, fonctionnel ou non, ou des volumes hydromorphes, sous réserve de réalisation des conditions nécessaires et suffisantes à la dénitrification (anaérobiose, carbone assimilable, nitrate en quantité non limitante). Les mesures de potentiel de dénitrification *in situ* semblent plus intéressantes à développer, en les situant notamment

Fig. 3.1.-D'une échelle d'étude à l'autre.
Schéma élaboré d'après MEROT &
RUELLAN (1980). Pour chaque échelle,
on a repris "le pourquoi" et "le comment",
c'est-à-dire son intérêt et les méthodes
à développer.

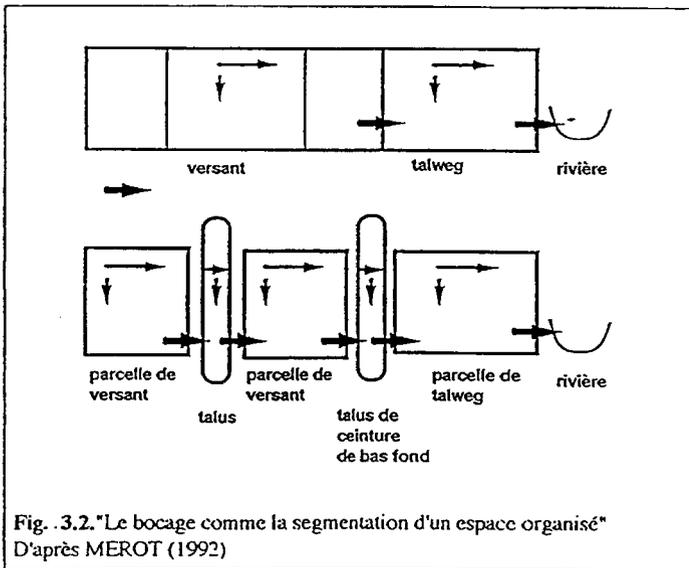


par rapport à certaines périodes à risque du point de vue des pratiques culturelles.

A coté des conclusions qui porteront sur le rôle épurateur effectif ou potentiel des SLB existantes, des propositions sur l'optimisation des fonctions épuratrices de nouvelles SLB, jouant soit sur la structure de la haie, soit sur sa situation géographique et sa synergie avec le milieu environnant pourront être faites.

III.2.-HYDROLOGIE
Typologie hydrologique des SBL.
Modélisation hydrologique distribuée.

Il s'agit ici de reprendre des travaux au niveau de bassins versants, pour quantifier les impacts de réseaux linéaires boisés, impacts qui ont déjà été identifiés. Ainsi, un bassin versant est composé d'un ensemble de versants et de talwegs aux comportements hydrologiques très variés. Le schéma ci-dessous propose une approche conceptuelle des haies bocagères : L'introduction du bocage segmente le versant en sous-systèmes composés de parcelles de versant associées à un talus à l'aval, et renforce la distinction versant/talweg par l'imposition d'un talus de ceinture de bas-fonds à la limite de ces deux éléments. Il s'agira donc de rechercher en quoi la présence du bocage modifie ou renforce une organisation et un fonctionnement initial en fonction des éléments introduits et des sous-systèmes créés.



● TYPOLOGIE DES HAIES ET DU RESEAU DES SLB

En préalable à toute modélisation ou spatialisation, on portera notre attention sur une typologie hydrologique des haies, permettant d'accorder aux différentes SLB une valeur hydrologique (on doit donc s'attacher à les situer topographiquement, à quantifier leur longueur, leur largeur sans trouée, leur association avec des fossés fonctionnels ou non...). On s'appuiera sur les méthodes de traitement spatial de l'information (système d'information géographique...). L'étude diachronique de l'évolution du paysage bocager et de son impact potentiel sera une des méthodes utilisées.

❶ PRISE EN COMPTE DU RESEAU DE HAIES DANS LA MODELISATION HYDROLOGIQUE DISTRIBUEE

C'est le deuxième objectif que l'on se fixe. Le suivi de différentes situations réelles et de différents scénarii d'aménagement devrait ainsi permettre de **quantifier l'impact des SLB sur le régime hydrologique**. Ce travail rejoint la problématique développée notamment en science du sol, à Rennes ou à Montpellier sur la prise en compte des aménagements de surface (fossés, talus, réseau routier...) sur le cycle des eaux superficielles. Ce travail s'appuiera sur les traitements des modèles numériques de terrain, les systèmes d'information géographique, la modélisation orientée objet.

❷ LES TRACEURS DE L'ENVIRONNEMENT

De façon plus prospective, on peut envisager le suivi de traceurs de l'environnement au niveau de bassins versants présentant un réseau de haies pour caractériser la "perturbation" créée par ce réseau sur le transfert au sein du bassin (accroissement de la durée de la propagation d'une crue; augmentation des mélanges au sein du bassin, analysée à différentes échelles de temps...).

❸ SPATIALISATION A L'ECHELLE DE BASSINS VERSANTS DE GESTION.

Les propositions précédentes se situent soit à l'échelle de la SLB, soit sur de petits bassins versants. La dernière étape à aborder est l'intégration du rôle des haies au niveau de bassins correspondant à l'échelle de gestion de la ressource en eau.

EN CONCLUSION...

Le bilan conduit ici met en avant la rareté des travaux spécifiques sur l'impact environnemental des haies vis à vis de la ressource en eau en climat tempéré. Le manque d'intérêt passé pour les questions environnementales, les objectifs initiaux de la constitution de haie dans les zones d'occupation agricole ancienne, l'opposition naguère forte des élites agricoles vis à vis du bocage en sont sans doute quelques explications.

Ce rapport a été conçu comme assez large pour ouvrir différentes pistes qui nous semblent utiles. Deux pistes de recherche apparaissent prioritaires : le rôle biogéochimique de la haie, qui doit être abordé de façon expérimentale, la quantification du rôle hydrologique des réseaux de haies, qui doit être abordée par une démarche de modélisation hydrologique distribuée.

Enfin, dans une optique de réintroduction de SBL au sein du milieu rural, une réflexion sur les relations entre les SBL et les activités agricoles, et sur le mode de gestion des haies doit être associée à l'étude du rôle fonctionnel de ces haies. En effet, du mode de gestion (présence-absence, structure, entretien, utilisation des parcelles connexes) dépendent largement les caractéristiques fonctionnelles des SBL.

BIBLIOGRAPHIE ANALYTIQUE

AMBUS P. and LOWRANCE R., 1991.-Comparison of denitrification in two riparian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 994-997.

Les auteurs comparent les potentiels de dénitrification de deux sols situés en zone rivulaire, un *thermic Typic Fluvaquent* (sol 1) et un *thermic Arenic Plinthic Paleaquult* (sol 2). Le sol 1 est plus riche en matière organique et moins bien drainé. Dans les deux sols, l'essentiel de la dénitrification se fait dans les deux premiers centimètres du sol. L'addition de nitrate aux échantillons de surface montre que le potentiel déterminé en laboratoire est nettement supérieur au potentiel *in situ* du fait de la forte disponibilité en carbone assimilable par les bactéries dénitrifiantes. Il résulte des additions de nitrate réalisées sur des échantillons prélevés dans la couche aquifère du sol le plus riche en matière organique et le moins bien drainé que cette couche aquifère peut être dénitrifiante lorsque la nappe est à 25-30cm de la surface. Dans les sols mieux drainés, la dénitrification est plutôt liée au cycle de la matière organique et à l'apport de nitrate par la litière et les racines mortes. En conclusion, AMBUS et LOWRANCE insistent sur l'importance des relations sol/plante/eau dans le maintien des capacités dénitrifiantes.

BERGSTRÖM D.W. and BEAUCHAMP E.G., 1993.-An empirical model of denitrification. *Can. J. Soil Sci.*, 73, 421-431.

BERGSTRÖM D.W. and BEAUCHAMP E.G., 1993.-Relationships between denitrification rate and determinant soil properties under barley. *Can. J. Soil Sci.*, 73, 567-578.

Mots-clés : taux de dénitrification, modèle, ligne de séparation, porosité, activité des enzymes dénitrifiantes.

Ces deux articles reprennent successivement l'élaboration d'un modèle empirique pour prédire le taux de dénitrification en fonction des propriétés du sol et sa mise en oeuvre dans une parcelle sous orge. Les principales propriétés du sol retenues sont :

-la teneur en eau, la porosité en air, la teneur en nitrate, le taux de minéralisation, le carbone minéralisable, l'activité des enzymes dénitrifiantes.

Il ressort des principaux résultats que la teneur en eau et la porosité en air sont très fortement reliées au taux de dénitrification, qui par ailleurs, n'est pas relié à la teneur en nitrate... Ces deux paramètres influent sur la pression partielle en oxygène qui contrôle l'activité des bactéries. Ce taux augmente essentiellement lorsque la porosité est inférieure à 0,3, et suit une variation saisonnière qui reste à déterminer plus finement.

BEIER C., 1991.-Atmospheric pollutants : separation of gaseous and particulate dry deposition of sulfur at a forest edge in Denmark. *J. Environ. Qual.*, 20, 460-466.

Le suivi annuel des particules de sulfates et sodium déposées en lisière de plantation d'épicéas met en avant la variation de ces quantités avec la distance à la lisière. D'autres articles, cités dans la bibliographie signalétique (HASSELROT and GRENNFELT, 1987 ; NEAL *et al.*, 1992,1993) confirment la diminution des teneurs en différents éléments soufrés et azotés à partir de la lisière au vent.

BRUNET R.C., PINAY G., GAZELLE F. and ROQUES L., 1994.-Role of the floodplain and riparian zone in suspended matter and nitrogen retention in the Adour river, south-west France. *Regul. Riv.*, 9, 55-63.

Mots-clés : géomorphologie, inondations, sédiments en suspension, azote.

Les flux de matière en suspension (MES) et d'azote ont été suivis au cours de deux inondations le long

Note : L'essentiel des articles et des ouvrages mentionnés dans cette bibliographie analytique est disponible au Laboratoire I.N.R.A. de Science du Sol de Rennes auprès de P. MEROT. Les bases de données bibliographiques Pascal (et ...) ont été consultées. Pour les références précédées d'un astérisque, seuls les résumés fournis par ces bases de données ont été consultés.

de 25km de méandres et comparés avec les taux de sédiments retenus par la frange rivulaire et la plaine alluviale. Ces deux zones confondues retiennent entre 10 et 20% des MES et environ 11% de l'azote particulaire qui arrivent en amont du réseau de méandres étudié. Bien que 15 fois plus petite que la plaine alluviale, la zone rivulaire dépose 50 fois plus de MES et 17 fois plus d'azote. La conclusion des auteurs est que si les zones rivulaires sont très importantes sur les petits cours d'eau, les rivières plus importantes (on a ici à faire avec un cours d'eau d'ordre 7 en terme de drainage) ne sont pas que des voies d'exportation dans la mesure où les zones rivulaires peuvent là aussi retenir des parts significatives de matière organique et minérale. Des propositions d'aménagements de corridors de végétation tampons suivent ces différentes mises en évidence.

CARNET C., 1978.-*Etude des sols et de leur régime hydrique en région granitique de Bretagne : une approche du rôle du bocage*. Thèse Univ. Rennes, U.E.R. Sciences Biologiques, mention Agronomie, 235p.

Mots-clés : cartographie pédologique, organisation pédologique, talus-haie-fossé, régime hydrique, circulation des eaux.

Bien que déjà ancien, ce mémoire reste innovant par les méthodologies développées. Après une caractérisation des volumes à l'échelle d'un bassin versant, CARNET s'attache à étudier l'organisation fine des volumes pédologiques de l'amont vers l'aval des ensembles haie-talus-fossé. En plus de la morphologie, des analyses chimiques et des mesures physiques de la perméabilité permettent de différencier ces volumes en terme de fonctionnement hydrique. Des suivis de l'humidité volumique selon une gamme de quatre pF (potentiels hydriques) de février à octobre permettent de comparer les variations de stocks et d'avancer des hypothèses sur la circulation de l'eau en terme de stockage, drainage ou ruissellement. CARNET avance donc un rôle de barrage au ruissellement, un rôle de drain vertical lié au système racinaire, et un rôle de rétention d'eau qui favorise la recharge des réserves profondes. par contre, la forte évapo-transpiration de la haie a un rôle dépréciateur sur 5 à 10m de part et d'autre de cette haie. Des propositions concrètes et adaptées au contexte granitique régional concluent ce mémoire de thèse.

CHARBEAUX P., 1994.-*Rôle épurateur des zones humides vis-à-vis des pollutions diffuses d'origine agricole; étude bibliographique*. INRA Sol Rennes, Univ. Orléans, Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux, 29p.

Mots-clés : ripisylve, zones humides, pollution diffuse, cycle de l'azote, phosphore, matières en suspension, propositions d'aménagements.

Cette synthèse bibliographique reprend quelques points essentiels du fonctionnement hydrologique des zones humides et du cycle de l'azote avant de développer d'autres sources de pollution diffuse comme le phosphore et les matières en suspension. Après une revue des modes de transfert de ces différents polluants, les capacités épuratrices des milieux humides sont discutées en terme de propositions de conservation ou d'aménagement.

1.CHEN XIQUAN, XIU LIANJI, GUAN JIYU, ZHANG WEI and XU GUI SHU.-*The effects of windbreak on soil moisture in West Heilongjiang province*. 174-179.

2.DING GUIFANG and ZHANG YUHUA.-*Effects of shelterbelt network on soil moisture*. 180-185.

1.Sous un climat continental à mousson, les auteurs montrent un effet positif de la haie sur les réserves en eau du sol, dû semble-t-il à l'accumulation préférentielle de la neige et à un retard au dégel des sols. L'effet optimum est obtenu sur une distance de une à quinze fois la hauteur de la haie. Les haies limitent par ailleurs les effets négatifs du vent et du sable.

2.Les auteurs montrent une dépendance entre la teneur en eau des sols et la distance à la haie, dans une région sous un climat continental à mousson semi-humide. Celle-ci varie en fonction de la profondeur du sol, du côté du brise-vent, de la saison :

-accroissement de la teneur en eau de 20 à 25% sur une distance de 5 à 15 fois la hauteur de la haie, par rapport à une parcelle ouverte ;

-protection de l'évaporation de la couche de surface pendant la période de vent fort ; stimulation de la croissance des cultures.

-effet fortement négatif sur l'humidité des sols de la haie jusqu'à au moins 0.5 fois la hauteur de la haie.

DAVIS B.N.K., BROWN M.J., FROST A.J., YATES T.J. and PLANT R.A., 1994.-The effects of hedges on spray deposition and on the biological impact of pesticide spray drift. *Ecotoxic. & Environ. Safety*, 27, 283-293.

Les auteurs comparent le long de transects présentant une haie ou une trouée dans la haie, la distribution d'un aérosol marqué à la fluorescéine puis l'impact d'un herbicide (MCPA sur tomate et *Lychnis*) et d'un insecticide (cyperméthrine sur chenille). Il y a une chute brutale de la teneur en aérosols à proximité de la haie, puis une augmentation des teneurs. L'impact biologique des phytosanitaires présente la même distribution, avec une zone d'atténuation immédiatement sous le vent mais aussi souvent des dommages accrus un peu plus loin. On retiendra que les haies sont à l'origine de mouvements d'air et d'une zone de protection sous le vent dont l'étendue est directement liée à la hauteur et à la densité de la haie.

HAYCOCK N.E. and PINAY G., 1993.-Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter. *J. Environ. Qual.*, 22(2), 273-278.

Dans cet article, les auteurs comparent la capacité de rétention des nitrates d'une bande herbeuse à *Lolium perenne* et d'une bande boisée de peupliers (*Populus italica*) au cours de l'hiver. Cette rétention est proportionnelle à la quantité de nitrate qui entre à l'amont du système, et a lieu essentiellement en lisière de la zone rivulaire (p. ex. dans les 5 premiers mètres de la bande boisée). Au cours de l'hiver, la plantation de peupliers retient 99% des nitrates entrants, contre 84% pour la bande herbeuse. Bien que l'activité biologique de la végétation à cette période soit réduite, la biomasse aérienne contribue par son apport en carbone au développement de la biomasse bactérienne engagée dans les processus de réduction des nitrates, et ceci explique la plus grande efficacité des végétaux ligneux (litière importante).

HULUGALLE N.R. and NDI J.N., 1994.-Changes in soil properties of a newly-cleared Ultisol due to establishment of hedgerow species in alley cropping systems. *Journ. of Agr. Sc., Cambridge*, 122, 435-443.

An Cameroun, les auteurs comparent l'efficacité de trois espèces implantées dans des haies en bordure de parcelles cultivées, notamment en terme de modification du calcium échangeable, de la capacité d'échange, de l'infiltration de l'eau, et par suite de rendement des cultures. Le facteur déterminant sous ce climat est l'apport de matière par élagage et son utilisation comme paillis.

JACOBS T.C. and GILLIAM J.W., 1985.-Riparian losses of nitrate from agricultural drainage waters. *J. Environ. Qual.*, 14(4), 472-478.

Mots-clés : dénitrification, drainage de sub-surface, zones tampons.

Une approche classique des suivis de polluants et de leur rétention par les zones tampons. L'article confirme notamment que des drains enterrés qui se déversent dans des fossés déplacent beaucoup plus rapidement l'azote vers les eaux de surface.

JOHNSTON C.A., DETENBECK N.E. and NIEMI G.J., 1990.-The cumulative effect of wetlands on stream water quality and quantity : a landscape approach. *Biogeochem.*, 10, 105-141.

Mots-clés : *S.I.G., approche paysagique, plomb, azote, phosphore, matières en suspension, bassin versant, zones humides.

Cette approche à l'échelle de bassins-versants est intéressante par rapport à la problématique bocage car elle s'intéresse aux effets cumulés d'un ensemble d'objets distincts, ici une mosaïque de zones humides. A partir de différentes missions aériennes et d'une chronique d'analyses de qualité de l'eau et de suivis des flux, les auteurs dégagent une trentaine de variables. L'analyse multivariée (A.C.P.) dégage 8 composantes principales de la qualité de l'eau et des critères descriptifs des zones humides. La mise en œuvre d'un *Système d'Information Géographique permet de spatialiser ces différentes variables et d'extraire des données sur les zones d'échange entre zones humides/zones non humides et zones humides/cours d'eau. La

démarche adoptée qui prend en compte l'évolution de différents éléments du paysage et dégage des variables synthétiques est intéressante, car on peut imaginer de substituer les haies aux zones humides.

KESNER B.T. and MEENTEMEYER V., 1989.-A regional analysis of total nitrogen in an agricultural landscape. *Landscape Ecology*, 2(3), 151-163.

Mots-clés : balance azotée, bassin versant cultivé, analyse régionale, SIG (Map Analysis Package), Géorgie (U.S.A.), écologie du paysage.

Les auteurs mettent en oeuvre un Système d'Information Géographique pour spatialiser la variabilité des entrées, sorties et rétention d'azote sur un bassin versant d'environ 100km² en Géorgie. La base de données comprend des variables environnementales et agronomiques au sens large disponibles sur ce bassin versant suivi expérimentalement depuis plusieurs années. De par les possibilités planimétriques du logiciel, différentes cartes thématiques fines (cellule de 1.5ha de côté) et une quantification des flux deviennent possibles : carte des entrées d'azote, des apports de fertilisants, des sorties, des zones de stockage. Les auteurs accèdent ainsi aux zones source-puits, mettent en évidence des flux massifs d'azote d'origine anthropique et des capacités de rétention de cet azote dans les forêts rivulaires dont le rôle tampon est matérialisé sur carte thématique. Des paramètres secondaires comme le turn-over de l'azote dans les différentes parties du paysage sont également accessibles par le SIG.

***1.KNAUER N. and MANDER U., 1989.-Studies on the filtration effect of differently vegetated buffer strips along inland waters in Schleswig-Holstein ; 1.-filtration of nitrogen and phosphorus. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 30(6), 365-376.**

***2.KNAUER N. and MANDER U., 1990.-Studies on the filtration effect of differently vegetated buffer strips along inland waters in Schleswig-Holstein ; 2.-information : filtration of heavy metals. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 31(1), 52-57.**

1. Les auteurs comparent les capacités d'épuration d'une aulnaie, d'une prairie naturelle, une prairie permanente mais semée à l'origine, et une prairie humide avec une mare peu profonde à macrophytes. Les meilleurs filtres vis-à-vis de l'azote et du phosphore sont l'aulnaie et la prairie naturelle : là encore une bande de 10m de large semble suffisante pour retenir 100% du phosphore et 50% de l'azote. Il n'y a plus trace de ces éléments après 100m. La matière organique est adsorbée à des proportions plus faibles que les autres substances. L'efficacité de la zone tampon est minimale en début de printemps, optimale pendant la période de croissance végétative.

2. Les métaux lourds suivis dans les eaux de surface et dans la solution du sol sont Pb, Cd, Cu et Cr. Les auteurs comparent les capacités de rétention des milieux cités précédemment. Si la prairie humide montre des capacités d'épuration de ces éléments intéressantes, c'est encore l'aulnaie qui semble le meilleur filtre vis-à-vis du plomb et du chrome, alors que le cuivre est mieux retenu par les prairies permanente et naturelle. La mare ne retient que le plomb et le cuivre. L'efficacité de ces différentes formations est nettement liée à leur largeur.

KORWAR G.R. and RADDER G.D., 1994.-Influence of root pruning and cutting interval of *Leucaena* hedgerows on performance of alley cropped *rabi* sorghum. *Agrofor. Systems*, 25, 95-109.

Pour limiter la compétition sur la consommation en eau entre culture et haie (ici une haie basse), les auteurs proposent un élagage des racines de la haie et une taille fréquente de la haie.

***LAL R., 1989.-Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol : water infiltrability, transmissivity and soil water sorptivity. *Agrofor. Systems*, 8(3), 217-238.**

Sur une période de cinq ans, les propriétés d'infiltration du sol ont été suivies en fonction de différents traitements (parcelles non labourées, labourées, entourées par des haies de *Leucaena leucocephala* et *Gliciridia sepium*). Les suivis mettent en avant un effet positif des haies sur l'infiltrabilité (exprimée en cm/h) comparable à celui du labour récent. L'ensemble serait intéressant à approfondir pour préciser le dispositif expérimental.

MEROT PH. et RUELLAN A., 1980.-Pédologie, hydrologie des bocages : caractéristiques et incidences de l'arasement des talus boisés. *B.T.L.*, 353/355, 657-689.

Cet article s'inscrit dans le contexte des remembrements et des arasements de talus connexes, et propose un tour d'horizon des travaux réalisés sur les différents rôles du bocage. Il s'intéresse aux problèmes méthodologiques posés par l'étude du bocage et notamment à ceux de l'échelle. Par suite, les auteurs développent les types d'organisation pédologique en fonction de substrats granitique et schisteux au sein des talus et le long des versants. Les éléments disponibles sur le régime hydrique des sols permettent de dégager des hypothèses sur la circulation d'un volume pédologique à l'autre en terme de percolation ou de ruissellement. L'érosion hydrique est abordée en terme d'exportation d'éléments fins et de matières humiques : le rôle du bocage est positif par la compartimentation qu'il crée et la limitation des exportations hors versant ou hors bassin versant. L'échelle du bassin versant va de paire avec une étude hydrologique globale et passe par l'étude du bilan hydrologique annuel et l'analyse de crues sur un bassin bocager et sur un bassin ouvert. Les crues sur bassin bocager semblent mieux tamponnées, notamment par l'existence de talus de bas-fond qui limitent l'extension de la zone saturée. Des propositions d'aménagement dans le contexte régional concluent cet article.

MEROT PH. and BRUNEAU P., 1993.-Sensitivity of bocage landscapes to surfaces run-off : application of the KIRKBY index. *Hydrol. Process.*, 7, XXXX.

Cette publication est centrée sur les ceintures de bas-fonds et l'influence de ces zones saturées lors des crues. La méthode développée ici comprend une modélisation de la topographie d'un bassin versant élémentaire à laquelle on superpose différents cas de figure de levées de terre, analogues de talus. Il ressort de ces simulations une variabilité spatiale de l'index de KIRKBY qui traduit la sensibilité des sols à la saturation et au ruissellement. Plus largement, la présence de ces levées de terre limite l'extension de la zone saturée au bas-fonds, et tamponne la crue indépendamment des conditions climatiques. L'apport d'une approche spatialisée est essentiel dans la compréhension des processus hydrologiques à l'échelle d'un bassin versant

*NAIR D.R., BURKEN J.G., LICHT L.A. and SCHNOOR J.L., 1993.-Mineralization and uptake of triazine pesticide in soil-plant systems. *J. Environ. Engineer.*, 119(5), 842-854.

Mots-clés : résidus d'herbicides, atrazine, types de sol, ruissellement, prélèvement, *Populus*...

Il s'agit ici d'une expérimentation en bio-réacteurs. Des peupliers se développent sur deux milieux de croissance : un milieu type sol cultivé (terreau/limons) et un milieu de sables siliceux. Le prélèvement d'un herbicide (l'atrazine) marqué au ^{14}C par les peupliers est d'environ 11% dans le milieu limoneux et supérieur à 91% dans le milieu sableux, le stockage se faisant sous forme de composés non phyto-toxiques dans les feuilles. Cette approche est intéressante à développer, notamment *in situ*.

PEEV B., 1988.-The ecological role of the shelterbelts in the republic of Bulgaria. In : BRANDLE *et al.* (Eds.), *Windbreak and Technology : Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 110-113.

L'article est basé sur des données acquises dans des régions ventées (Dobrudja), et envisageant moult situations de largeur, hauteur, densité des haies et du réseau bocager... L'auteur confère aux haies un rôle global et constant sur l'environnement écologique : modification des conditions météorologiques, micro-climatiques, hydrologiques, atmosphériques, biologiques, agricoles, sanitaires, esthétiques et émotionnelles... L'article est aussi radical que celui de STEPANOV & MALANINA (1988).

Quelques originalités :

- Les haies transverses ont une faible efficacité et des conséquences écologiques et économiques négatives ;
- La concentration de parasites des cultures dans les haies est un phénomène positif qui facilite le traitement : les parasites y sont contrôlés par leurs prédateurs naturels.

PETERJOHN W.T. and CORRELL D.L., 1984.-Nutrient dynamics in an agricultural watersheds : observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65(5), 1466-1475.

Mots-clés : pollution diffuse, eaux souterraines, cycle des nutriments, forêt rivulaire, bassin versant.

Les variations des concentrations en N, P et C sur un bassin versant cultivé ont été suivies, et notamment en lisière d'une forêt rivulaire. Sur 50m de la formation végétale, les eaux de ruissellement ont véhiculé 11kg/ha d'azote organique, 2.7kg/ha de nitrate et 3 kg/ha de phosphore. Les auteurs ont par ailleurs estimé un déplacement de 45kg d'azote par hectare et par an dans les eaux de sub-surface au sein de la forêt rivulaire.

PINAY G., DECAMPS H., ARLES C. and LACASSIN-SERES M., 1989.-Topographic influence on carbon and nitrogen dynamics in riverine wood. *Arch. Hydrobiol.*, 114(3), 401-414.

Cette étude s'intéresse plus particulièrement aux conséquences de l'engorgement sur les cycles du carbone et de l'azote. Des variations topographiques même très faibles, de l'ordre de quelques centimètres, entraînent des variations dans l'intensité de l'engorgement des sols soumises aux fluctuations de la nappe alluviale. Il en résulte une variation spatiale des couverts végétaux et de la dynamique des éléments azotés et carbonés. Le potentiel de dénitrification de ces zones est ainsi largement variable et directement lié au "micro-relief" et au fonctionnement hydrologique de la zone. Les auteurs mettent en avant la complexité d'un écotone comme les forêts rivulaires, et la multiplicité des échelles et des paramètres disponibles suite à l'emboîtement des écotones et aux interactions entre eux.

PINAY G., FABRE A., VERVIER PH. and GAZELLE F., 1992.-Control of C, N, P distribution in soils of riparian forests. *Landscape Ecology*, 6(3), 121-132.

Mots-clés : plaine alluviale, géomorphologie, sédiments, nutriments, carbone organique.

Les auteurs étudient la relation entre la géomorphologie des plaines alluviales et leur aptitude à retenir les nutriments et le carbone organique. Ils différencient les forêts rivulaires en forêts érosives (dépôts des seules particules sableuses suite à la vitesse du cours d'eau) ou en forêts de dépôt (les vitesses plus basses autorisent le dépôt des limons et des argiles). Ce dernier type de forêts alluviales fonctionne comme un puits vis-à-vis des flux de nutriments et de carbone et accumulent au cours des crues ces différents éléments. Par contre, les forêts rivulaires érosives auraient un rôle source pendant les périodes de hautes eaux et relargueraient ces mêmes éléments vers le cours d'eau. Il convient donc de s'attacher à la géomorphologie et au fonctionnement de ces zones dites globalement "zones tampons".

PINAY G., ROQUES L. and FABRE A., 1993.-Spatial and temporal patterns of denitrification in a riparian forest. *J. of Appl. Ecol.*, 30, 581-591.

Mots-clés : toposéquences, azote, plaine alluviale, bande de végétation tampon.

Après une estimation de la dénitrification *in situ* dans une forêt rivulaire, les modalités spatiales et temporelles sont suivies selon des toposéquences, notamment au moyen d'une régression multiple qui met en jeu différents paramètres liés à l'activité des micro-organismes ou aux teneurs en différentes formes de l'azote et du carbone. Les valeurs de dénitrification les plus élevées (plus de 78mgdN/m²/jour) ont été mesurées en fin d'hiver-début de printemps, alors que les taux les plus faibles (3mgdN/m²/jour) correspondent à l'été et à l'automne. Quelle que soit la saison considérée, 30 mètres de zone tampon semblent suffisants pour épurer l'ensemble des nitrates entrants. La conclusion générale débouche sur des propositions de conservation ou d'aménagement de ces zones tampons.

PINAY G., HAYCOCK N.E., RUFFINONI C. and FABRE A., 1994.-The role of denitrification in nitrogen removal in river corridors. In : MITSCH W.J. (Ed.), *Global Wetlands : Old World and New*, Elsevier Science B.V., 107-116.

Cet extrait est en fait une synthèse des travaux effectués précédemment par les auteurs et reprend successivement :

-le contrôle des flux de surface de sédiments et de nutriments : l'accent est mis sur la géomorphologie et les successions végétales, la balance entre sédimentation et érosion, la variation du taux de dénitrification en fonction de la granulométrie de la station.

-le contrôle des flux azotés de sub-surface : les auteurs insistent sur les conditions nécessaires à la dénitrification, et plus particulièrement sur la disponibilité du carbone.

-l'importance des zones hyporhéiques dans la rétention de l'azote : le rôle des zones d'échange entre l'eau superficielle et l'eau souterraine est mis en avant.

RICHARDSON B., 1993.-Vegetation management practices in plantation forests of Australia and New Zealand. *Can. J. For. Res.*, 23, 1989-2005.

Cet article aborde des problèmes très spécifiques de compétition pour l'eau et les nutriments dans les forêts de production à *Pinus radiata* D. Don., et fait intervenir différentes techniques de suivi des prélèvements de nutriments par les espèces ligneuses et herbacées.

RYSZKOWSKI L. and KEDZIORA A., 1987.-Impact of agricultural landscape structure on energy flow and water cycling. *Landscape Ecology*, 1(2), 85-94.

Mots-clés : flux d'énergie, cycle de l'eau, évapo-transpiration, production primaire, albedo.

L'approche de RYSZKOWSKI est double : il considère parallèlement des variables bioclimatiques et des variables descriptives du couvert végétal. Le suivi de la pluviométrie, de la température, de l'ensoleillement, de la vitesse du vent, de la pression de vapeur et de rayonnement reçu, émis et net sont les principales variables climatiques. Le suivi de la répartition de l'énergie entre cultures, prairies et bandes boisées permet de dégager plusieurs éléments concernant le cycle de l'eau. Les auteurs mettent notamment en évidence que les haies utilisent 40% d'énergie de plus que les céréales pour l'évapo-transpiration (racines plus exploratrices, moins bonne résistance stomatique, plus grande rugosité au niveau de la canopée). Par suite, les haies augmentent le déficit en eau même si en début de printemps, les zones bocagères collectent de 20 à 80mm de plus d'eau qu'un milieu ouvert. De tout ceci, il faut retenir que la structure de la végétation est prépondérante quand on s'intéresse aux flux d'énergie et à la circulation de l'eau. Il en découle une grande variabilité d'un écosystème à l'autre, et donc l'intérêt de travailler non pas à l'échelle du paysage mais en le compartimentant entre haies, céréales, prairies, sols nus.

RYSZKOWSKI L., 1989.-Control of energy and matter fluxes in agricultural landscapes. *Agric., Ecosys.& Environ.*, 27, 107-118.

Mots-clés : bilans d'énergie, flux de matière, capacité de rétention des polluants, bilans de matière organique.

RYSZKOWSKI reprend différents résultats sur les bilans d'énergie et notamment que les haies interceptent plus de radiations solaires pendant la saison de croissance végétative que les prairies et champs cultivés. Elles utilisent la majeure partie de cette énergie pour l'évapo-transpiration. Par suite, l'auteur s'attache à la capacité de rétention des composants chimiques par les végétaux. L'hypothèse de départ étant que les haies sont de puissantes pompes naturelles, elles ont une influence directe ou indirecte sur la solution du sol. La méthode et l'échantillonnage mis en oeuvre sont peu explicités, les résultats des teneurs en nitrate et phosphate parcelnaires. La conclusion, très générale, affirme que les haies, les parcelles boisées et les pâtures ont un rôle de barrière géochimique et qu'elles doivent être intégrées comme telles dans un système d'agriculture équilibré, qui respecte les cycles naturels et notamment ceux de la matière organique.

RYSZKOWSKI L. and BARTOSZEWICZ A., 1989.-Impact of agricultural landscape structure on cycling of inorganic nutrients. In : CLARHOLM M. et al. (Eds.), *Ecology of arable land*, Kluwer Academic Publishers, 241-246.

Mots-clés : barrière biogéochimique, eau souterraine, paysage, lessivage, ceintures de haies.

Mêmes méthodes, mêmes résultats qui se résument ainsi : les concentrations en polluants diminuent significativement lorsque des zones tampons (bandes herbeuses ou boisées) sont disséminées entre les parcelles cultivées. Un aspect original est développé dans cette publication : la qualité chimique de l'eau des fossés. Des éléments comme NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} et Ca s'y retrouvent à des concentrations inférieures à celles

observées dans l'eau souterraine sous parcelle cultivée, et elles varient peu depuis plus de dix ans alors que parallèlement les apports en engrais minéraux n'ont cessé d'augmenter.

RYSZKOWSKI L. and KEDZIORA A., 1993.-Energy control of matter fluxes through land-water ecotones in an agricultural landscape. *Hydrobiol.*, 251 : 239-248.

Mots-clés : écotones, flux d'énergie, évapo-transpiration, flux de sub-surface.

Cette étude s'attache principalement à décrire les flux au sein d'écotones comme les ripisylves. Le principe de base est que l'énergie solaire est la force motrice des cycles de l'eau dans les écosystèmes, la méthode est appliquée sur une bande boisée de 10 mètres de large. Différents paramètres de flux hydrique sont déterminés, dont la **profondeur de la nappe**, la **conductivité** et la **porosité efficace de l'aquifère**, mais la publication ne renseigne pas sur les conditions de mesure. A partir des différentes données sur la nappe et son aquifère, les auteurs déduisent un **volume d'eau journalier** transitant au sein de la ripisylve. Le calcul de ce "flux journalier" intègre le gradient hydraulique de la nappe et permet d'aboutir à la notion d'**efficacité de la régulation du flux en fonction de la pente et de l'évapo-transpiration**, donc de la végétation.

SADANANDAN NAMBIAR E.K. and SANDS R., 1993.-Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.*, 23, 1955-1968.

Cet article reprend notamment la compétition pour l'eau et les nutriments entre arbres et pâturages dans les systèmes agro-forestiers. Il en ressort qu'il n'existe pas de loi générale de la compétition mais des **comportements adaptatifs** qui répondent à un stress hydrique ou nutritif ; l'ensemble de l'article est cependant orienté sur la gestion raisonnée des espèces herbacées en sous-étages de forêts exploitées.

SCHAEFFER P.R., 1988.-The vital roles of trees in sustainable agricultural systems. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 67-69.

Dans le cadre des régions de grandes plaines, SCHAEFFER affecte aux haies un rôle de support de l'agriculture, de protection des ressources en sol, de diversification des cultures, d'accroissement des rendements et des profits à court terme pour l'agriculteur et à long terme (stockage du dioxyde de carbone). C'est un élément essentiel dans les pratiques de conservation et d'agriculture intégrée. Les travaux d'amont ne ressortent pas dans cette publication qui tient plus d'une liste non exhaustive sur les "qualités" des haies.

SHATALOV V.G., 1988.-Systems in watershed belts in agrolandscapes. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 93.

L'auteur présente une méthodologie d'implantation de ceintures arborées pour lutter contre la sécheresse, l'érosion et la pollution des eaux à l'échelle de bassins-versants.

SSEKABEMBE C.K., HENDERLONG P.R. and LARSON M., 1994.-Soil moisture relations at the tree/crop interface in black locust alleys. *Agroforestry Systems*, 25, 135-140.

Mots-clés : cultures en bandes, robinier faux-acacia, compétition, haies, humidité du sol,

L'objectif de l'étude est de déterminer si la présence de haies de robiniers augmente le déficit hydrique des cultures proches. Les résultats mettent en fait un rôle prépondérant des caractéristiques du sol. La **piérosité** qui limite l'enracinement profond des robiniers augmente la **compétition de contact entre arbres de la haie et cultures**. Un rôle éventuel de la teneur en matière organique comme favorable à la rétention d'eau est également abordé.

STEPANOV A.M. and MALANINA Z.I., 1988.-Shelterbelt in the USSR : an integral part of the agrolandscape. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 52-55.

Les auteurs situent l'intérêt des haies par rapport aux climats arides et secs, avec intensification agricole entraînant érosions hydrique et éolienne. L'article est très synthétique, voire trop et ne permet pas de voir sur quelles données s'appuient les conclusions.

Les haies réduisent le vent de 30 à 40%, limitant ainsi l'érosion éolienne. Elles accumulent de 2 à 30% de plus de neige, et fournissent de 20 à 60mm en réserve en eau des sols. Elles atténuent les températures hivernales du sol. Sur 20 à 40ans, elles élèvent le niveau des nappes de 2 à 3m, mais fonctionnent comme des drains biologiques dans les zones où la nappe est trop haute, en prévention de la salinisation secondaire, suppriment le ruissellement et augmentent l'humidité relative de 5 à 9%. Elles diminuent la température estivale de 2 à 3°, et élèvent l'automne de 1 à 2°.

Par ailleurs, les haies bloquent la matière organique, augmentant le stock de 100 à 600kg/ha. L'efficacité des fertilisants semble augmentée de 1.5 à 2 fois. Dans une zone cultivée, sous leur influence, il y a accroissement de 4 à 13t/ha d'humus, 100 à 140kg de nitrate, 30 à 100kg de phosphore sur une période de 40 à 60ans par rapport à une steppe ouverte. Elles diminuent la teneur en nitrate de 29 à 54%, le monoxyde de carbone de 36 à 56% et la poussière de 42 à 85%.

Enfin, les haies agissent comme des régulateurs des équilibres biologiques et écologiques dans les zones urbaines où elles ont également des fonctions sociales, esthétiques et de bien-être. Elles augmentent la bio-diversité, correspondent à un faible investissement, mais ont un effet net et durable sur les rendements, la conservation des sols et leur fertilité...

SUN D. and DICKINSON G.R., 1994.-A case study of shelterbelt effect on potato (*Solanum tuberosum*) yield on the Atherton Tablelands in tropical north Australia. *Agroforestry System*, 25,141-151.

Les paramètres suivis par les auteurs sont la vitesse et la direction du vent et le rendement en pommes de terre en fonction de la distance à la haie, du côté sous le vent. Un modèle non linéaire permet de mettre en évidence le gain net de rendement (6.7%) dû à l'atténuation du vent.

1.SWAMI RAO N., 1988.-Alley cropping trial ; intercropping food crops with forest trees. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 171.
2.PATIL V.C., 1988.-Competition for moisture and light in an agroforestry system. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 171-174.

Dans ces deux articles, les auteurs insistent sur la compétition entre culture et haie pour la teneur en eau des sols et la lumière. Par contre, la qualité du sol est améliorée par la litière issue de la haie.

SZPAKOWSKA B. and ZYCZYNSKA-BALONIAK I., 1994.-The role of biogeochemical barriers in water migrations of humic substances. *Polish Journal of Environmental Studies*, 3(2), 35-41.

Mots-clés : agro-écosystèmes, barrières biogéochimiques, carbone total, substances humiques, eaux de surface et souterraines.

Les auteurs suivent la variabilité saisonnière des concentrations de substances humiques dans l'eau de drainage de zones cultivées, et testent l'efficacité de bandes herbeuses, de ceintures de haies et de zones humides sur la limitation de la migration de composés chimiques. Le milieu édaphique, le plan d'échantillonnage et les méthodes d'analyse sont clairement exposés. Les résultats mettent en avant une diminution générale de la dispersion des composés organiques, un rôle majeur des zones humides de tête de talweg et une efficacité nettement différente en fonction de la largeur de la zone tampon vraisemblablement liée au temps de séjour au contact de la microflore. L'abattement de concentration varie de 9% pour une bande herbeuse étroite à 52% pour une bande de 20 mètres de large.

TREMOLIERES M., CARBIENER D., CARBIENER R., EGLIN I., ROBACH F., SANCHEZ-PEREZ M., SCHNITZLER A. and WEISS D., 1991.-Zones inondables, végétation, qualité de l'eau en milieu alluvial rhénan : l'île de Rhinau, un site de recherches intégrées . *Bull. Ecol.*, 22(3-4), 317-336.

Mots-clés : zone inondable, forêt alluviale, écosystème aquatique, nappe phréatique, phosphate, nitrate, zone hyporhéique.

Cet article est une synthèse de travaux effectués sur une zone inondable particulière, l'île de Rhinau, qui permet l'étude conjointe des écosystèmes terrestre et aquatique et des zones d'échange avec les eaux souterraines. On retiendra des différents travaux (*sic.*):

-l'existence de "relations entre le fonctionnement des écosystèmes forestiers et l'épuration des eaux souterraines" : le système sol-plante assure des transformations et des prélèvements plus ou moins suffisants en fonction de ses stades pour recharger la nappe en eau de bonne qualité ;

-"le partage de la ressource phosphore entre des partenaires de l'écosystème forestier alluvial terminal" met en évidence un relargage de cet élément par les végétaux qui ne le stockent pas, à de très rares exceptions ;

-l'utilisation des "végétaux macrophytes aquatiques (...) descripteurs du fonctionnement hydrologique et agents d'auto-épuration" : les auteurs mettent en relation les caractéristiques auto-écologiques des espèces avec des paramètres de qualité de l'eau (PO_4^- , NH_4^+ , Demande Chimique en Oxygène, Demande Biologique en Oxygène).

La conclusion de l'article débouche sur des propositions de conservation de ces zones alluviales primordiales pour la qualité des eaux souterraines.

*VOUGHT L.B.M., LACOURSIERE J.O. and VOELZ N.J., 1991.-Streams in agricultural landscape. *Vatten*, 47(4), 321-328.

Mots-clés : ruissellement, phosphore, azote, nutriments, épuration, prairies rivulaires, Suède.

Suite aux conséquences des pollutions diffuses sur les peuplements du littoral, les auteurs s'intéressent aux capacités d'épuration des zones tampons en bordure de fleuves. Après 8m de transfert au sein de ces bandes tampons, les concentrations en phosphates sont rabattues de 66% et celles en nitrate de 20%. Après 16m, ces valeurs passent respectivement à 95% et 50% ; en hiver, ce rabattement n'est que de 11% pour les nitrates. La proposition d'aménagement qui en ressort est une zone tampon d'une dizaine de mètres. On ne sait cependant pas à quelle longueur de versant ni à quels apports cette proposition moyenne peut répondre efficacement. Par ailleurs, un suivi de traceur le long du cours d'eau met en avant l'importance des échanges et l'effet de dilution qui existent entre le cours d'eau et la zone hyporhéique, c'est-à-dire la zone d'échange entre eaux de surface et eaux souterraines.

BIBLIOGRAPHIE SIGNALÉTIQUE

- AMBUS P. and LOWRANCE R., 1991.-Comparison of denitrification in two riparian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 994-997.
- BERGSTRÖM D.W. and BEAUCHAMP E.G., 1993.-An empirical model of denitrification. *Can. J. Soil Sci.*, 73, 421-431.
- BERGSTRÖM D.W. and BEAUCHAMP E.G., 1993.-Relationships between denitrification rate and determinant soil properties under barley. *Can. J. Soil Sci.*, 73, 567-578.
- BEIER C. and GUNDERSEN P., 1989.-Atmospheric deposition to the edge of a spruce forest in Denmark. *Environ. Poll.*, 60, 257-271.
- BEIER C., 1991.-Atmospheric pollutants : separation of gaseous and particulate dry deposition of sulfur at a forest edge in Denmark. *J. Environ. Qual.*, 20, 460-466.
- BRUNET R.C., PINAY G., GAZELLE F. and ROQUES L., 1994.-Role of the floodplain and riparian zone in suspended matter and nitrogen retention in the Adour river, south-west France. *Regul. Riv.*, 9, 55-63.
- BOUMA J. and DEKKER L.M., 1981.-A method for measuring vertical and horizontal Ksat of clay soils with macropores. *Soil Sci. Am. J.*, 46, 438-441.
- CARNET C., 1978.-*Etude des sols et de leur régime hydrique en région granitique de Bretagne : une approche du rôle du bocage*. Thèse Univ. Rennes, U.E.R. Sciences Biologiques, mention Agronomie, 235p.
- CHARBEAUX P., 1994.-*Rôle épurateur des zones humides vis-à-vis des pollutions diffuses d'origine agricole; étude bibliographique*. Mémoire INRA Sol Rennes, Univ. Orléans, Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux, 29p.
- CHEN XIQUAN, XIU LIANJI, GUAN JIYU, ZHANG WEI and XU GUI SHU.-The effects of windbreak on soil moisture in West Heilongjiang province. 174-179.
- DAVIS B.N.K., BROWN M.J., FROST A.J., YATES T.J. and PLANT R.A., 1994.-The effects of hedges on spray deposition and on the biological impact of pesticide spray drift. *Ecotoxic. & Environ. Safety*, 27, 283-293.
- DECONCHAT M. et BALENT G., 1993.-*Les boisements des terres agricoles comme outil de gestion écologique du paysage : synthèse bibliographique des effets des bois sur la bio-diversité et les flux de pollutions agricoles*. Publication INRA Toulouse, SOLAGRO, 97p.
- DING GUIFANG and ZHANG YUHUA.-Effects of shelterbelt network on soil moisture. 180-185.
- DRAAIJERS G.P.J., IVENS W.P.M.F. and BLEUTEN W., 1988.-Atmospheric deposition in forest edges measured by monitoring canopy throughfall. *Water, Air and Soil Pollution*, 42, 129-136.
- HASSELROT B. and GRENNFELT P., 1987.-Deposition of air pollutants in a wind-exposed forest edge. *Water, Air and Soil Pollution*, 34, 135-143.
- HAYCOCK N.E. and PINAY G., 1993.-Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter. *J. Environ. Qual.*, 22(2), 273-278.
- HAYCOCK N.E., PINAY G. AND WALKER C., 1993.-Nitrogen retention in river corridors : european perspectives. *Ambio*, 22(6), 340-346.
- HULUGALLE N.R. and NDI J.N., 1994.-Changes in soil properties of a newly-cleared Ultisol due to establishment of hedgerow species in alley cropping systems. *Journ. of Agr. Sc., Cambridge*, 122, 435-443.
- JACOBS T.C. and GILLIAM J.W., 1985.-Riparian losses of nitrate from agricultural drainage waters. *J. Environ. Qual.*, 14(4), 472-478.
- JOHNSTON C.A., DETENBECK N.E. and NIEMI G.J., 1990.-The cumulative effect of wetlands on stream water quality and quantity : a landscape approach. *Biogeochem.*, 10, 105-141.
- KEDZIORA A., OLEJNIK J. and KAPUSCINSKI J., 1989.-Impact of landscape structure on heat and water balance. *Ecol. Intern. Bull.*, 17, 1-17.
- KESNER B.T. and MEENTEMEYER V., 1989.-A regional analysis of total nitrogen in an agricultural landscape. *Landscape Ecology*, 2(3), 151-163.
- KNAUER N. and MANDER U., 1989.-Studies on the filtration effect of differently vegetated buffer strips along inland waters in Schleswig-Holstein ; 1.-filtration of nitrogen and phosphorus. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 30(6), 365-376.

Note : les références précédées d'un symbole • sont incluses dans la bibliographie analytique.

- KNAUER N. and MANDER U., 1990.-Studies on the filtration effect of differently vegetated buffer strips along inland waters in Schleswig-Holstein ; 2.-information : filtration of heavy metals. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 31(1), 52-57.
- KORWAR G.R. and RADDER G.D., 1994.-Influence of root pruning and cutting interval of *Leucaena* hedgerows on performance of alley cropped *rabi* sorghum. *Agrofor. Systems*, 25, 95-109.
- LAL R., 1989.-Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol : water infiltrability, transmissivity and soil water sorptivity. *Agrofor. Systems*, 8(3), 217-238.
- LUCOT E., 1994.-Influence des caractéristiques de la pierrosité des sols sur la prospection racinaire et l'alimentation hydrique des arbres : application à l'estimation de la valeur des sols forestiers. Thèse Doc. Univ. Franche-Comté, Mention Science de la Nature et de la Vie, 101p+annexes.
- MEROT PH., 1978.-*Bocage : sols et eau, Tome 1. Le bocage en Bretagne granitique, une approche de la circulation des eaux*. Thèse de Doctorat IIIème cycle, Rennes, 199p.
- MEROT PH. et RUELLAN A., 1980.-Pédologie, hydrologie des bocages : caractéristiques et incidences de l'arasement des talus boisés. *B.T.I.*, 353/355, 657-689.
- MEROT PH., 1992.-Bocage et Hydrologie. Actes du colloque Bocage 2000, Rostrenen.
- MEROT PH. and BRUNEAUP., 1993.-Sensivity of bocage landscapes to surfaces run-off : application of the KIRKBY index. *Hydrol. Process.*, 7.
- NAIR D.R., BURKEN J.G., LICHT L.A. and SCHNOOR J.L., 1993.-Mineralization and uptake of triazine pesticide in soil-plant systems. *J. Environ. Engineer.*, 119(5), 842-854.
- NEAL C., ROBSON A.J., HALL R.L., RYLAND G.P., CONWAY and T.NEAL M., 1991.-Hydrological impacts of hardwood plantation in lowland Britain : preliminary findings on interception at a forest edge, Black Wood, Hampshire, southern England. *J. Hydrol.*, 127, 349-365.
- NEAL C., RYLAND G.P., CONWAY T., JEFFERY H.A., NEAL M., ROBSON A.J., SMITH C.J., WALLS J. and BHARDWAJ C.L., 1992.-Interception of chemicals at a forest edge for a rural low-lying site, Black Wood, Hampshire, southern England. *The Science of the Total Environment*, 142, 127-141.
- NEAL C., ROBSON A.J., BHARDWAJ C.L., CONWAY T., JEFFERY H.A., NEAL M., RYLAND G.P., SMITH C.J. and WALLS J., 1993.-Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, Black Wood, Hampshire, southern England : findings on interception at a forest edge and the effects of storm damage. *J. Hydrol.*, 146, 221-233.
- PATIL V.C., 1988.-Competition for moisture and light in an agroforestry system. In : BRANDLE *et al.* (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 171-174.
- PEEV B., 1988.-The ecological role of the shelterbelts in the republic of Bulgaria. In : BRANDLE *et al.* (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 110-113.
- PETERJOHN W.T. and CORRELL D.L., 1984.-Nutrient dynamics in an agricultural watersheds : observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65(5), 1466-1475.
- PINAY G., DECAMPS H., ARLES C. and LACASSIN-SERES M., 1989.-Topographic influence on carbon and nitrogen dynamics in riverine wood. *Arch. Hydrobiol.*, 114(3), 401-414.
- PINAY G., FABRE A., VERVIER PH. and GAZELLE F., 1992.-Control of C, N, P distribution in soils of riparian forests. *Landscape Ecology*, 6(3), 121-132.
- PINAY G., ROQUES L. and FABRE A., 1993.-Spatial and temporal patterns of denitrification in a riparian forest. *J. of Appl. Ecol.*, 30, 581-591.
- PINAY G., HAYCOCK N.E., RUFFINONI C. and FABRE A., 1994.-The role of denitrification in nitrogen removal in river corridors. In : MITSCH W.J. (Ed.), *Global Wetlands : Old World and New*, Elsevier Science B.V., 107-116.
- RICHARDSON B., 1993.-Vegetation management practices in plantation forests of Australia and New Zealand. *Can. J. For. Res.*, 23, 1989-2005.
- RYSZKOWSKI L. and KEDZIORA A., 1987.-Impact of agricultural landscape structure on energy flow and water cycling. *Landscape Ecology*, 1(2), 85-94.
- RYSZKOWSKI L., 1989.-Control of energy and matter fluxes in agricultural landscapes. *Agric., Ecosys.& Environ.*, 27, 107-118.
- RYSZKOWSKI L., KARG J., SZPAKOWSKA B. and ZYCZYNSKA-BALONIAK I., 1989.-Distribution of phosphorus in meadow and cultivated field ecosystems. In : TIESSEN H. (Ed.), *Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems*, Regional Workshop 1 : Europe, 178-192.
- RYSZKOWSKI L. and BARTOSZEWICZ A., 1989.-Impact of agricultural landscape structure on cycling of inorganic nutrients. In : CLARHOLM M. *et al.* (Eds.), *Ecology of arable land*, Klüwer Academic Publishers, 241-246.

- RYSZKOWSKI L., 1990.-Ecological guidelines for management of rural areas in Poland. In : GRODZINSKI W. et al., (Eds.), *Ecological risks : perspectives from Poland and the United States*, National Academy Press., 249-264.
- RYSZKOWSKI L. and KEDZIORA A., 1991.-Ecological guidelines for management of agricultural landscapes. In : EUROMAB Research Program, *Comparisons of landscape pattern dynamics in European rural areas*, Vol.1, 268-271.
- RYSZKOWSKI L., KEDZIORA A., and OLEJNIK J., 1991.-Potential effects of climate and land use changes on the water balance structure in Poland. In : BROUWER F.M. et al. (Eds.), *Land use changes in Europe : processes of change, environmental transformations and future patterns*, Kluwer Academic Publishers, London, 253-274.
- RYSZKOWSKI L., 1992.-Energy and material flow across boundaries in agricultural landscapes. In : HANSEN A.J. and DI CASTRI, (Eds.), *Landscape boundaries : consequence for biotic diversity and ecological flows*, Springer-Verlag, New-York, 270-281.
- RYSZKOWSKI L., 1993.-Soil erosion and conservation in Poland. In : PIMENTEL D. (Ed.), *World soil erosion and conservation*, Cambridge University Press, 217-232.
- RYSZKOWSKI L. and KEDZIORA A., 1993.-Energy control of matter fluxes through land-water ecotones in an agricultural landscape. *Hydrobiol.*, 251 : 239-248.
- SADANANDAN NAMBIAR E.K.and SANDS R., 1993.-Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.*, 23, 1955-1968.
- SCHAEFER P.R., 1988.-The vital roles of trees in sustainable agricultural systems. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 67-69.
- SHATALOV V.G., 1988.-Systems in watershed belts in agrolandscapes. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986,93.
- SSEKABEMBE C.K., HENDERLONG P.R. and LARSON M., 1994.-Soil moisture relations at the tree/crop interface in black locust alleys. *Agroforestry Systems*, 25, 135-140.
- STEPANOV A.M. and MALANINA Z.I., 1988.-Shelterbelt in the USSR : an integral part of the agrolandscape. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 52-55.
- SUN D. and DICKINSON G.R., 1994.-A case study of shelterbelt effect on potato (*Solanum tuberosum*) yield on the Atherton Tablelands in tropical north Australia. *Agroforestry System*, 25,141-151.
- SWAMI RAO N., 1988.-Alley cropping trial ; intercropping food crops with forest trees. In : BRANDLE et al. (Eds.), *Windbreak and Technology, Proceedings of an International Symposium*, Lincoln, June 1986, 171.
- SZPAKOWSKA B. and ZYCZYNSKA-BALONIAK I., 1994.-The role of biogeochemical barriers in water migrations of humic substances. *Polish Journal of Environmental Studies*, 3(2), 35-41.
- TREMOLIERES M., CARBIENER D., CARBIENER R., EGLIN I., ROBACH F., SANCHEZ-PEREZ M., SCHNITZLER A. and WEISS D., 1991.-Zones inondables, végétation, qualité de l'eau en milieu alluvial rhénan : l'île de Rhinau, un site de recherches intégrées. *Bull. Ecol.*, 22(3-4), 317-336.
- VOUGHT L.B.M., LACOURSIERE J.O. and VOELZ N.J., 1991.-Streams in agricultural landscape. *Vatten*, 47(4), 321-328.

Conception de zone de filtration des eaux effluentes de parcelles agricoles : approche bibliographique

Gérard Balent – Marc Deconchat

INRA – Unité Systèmes agraires et développement
Chemin Borde-Rouge, 31326 Auzeville
Tél. 61 28 50 28 – Fax 61 28 53 72

I. Des zones tampons peuvent agir contre des flux de polluants agricoles.

Le développement de l'agriculture intensive a provoqué par endroit des problèmes de pollution des eaux par des concentrations trop élevées de nitrates (Jacobs et Gilliam, 1985). Il s'agit d'une pollution dite diffuse, alors que celles d'origines urbaines sont dites ponctuelles et sont par conséquent plus faciles à maîtriser (Osborne et Wiley, 1988). Cette pollution d'origine agricole est apparue avec l'augmentation des apports de fertilisants, la baisse de la quantité de matière organique dans les sols, et la disparition des zones épuratrices naturelles (Lowrance et al., 1983). Les nitrates sont transportés par 3 types de flux: (1) des flux verticaux vers une nappe profonde, (2) des flux latéraux dans la nappe superficielle et (3) des flux de surface par ruissellement ou dans des cours d'eau.

Pour lutter contre les flux verticaux (1) susceptibles d'affecter des nappes profondes, les actions principales doivent porter sur les pratiques culturales (réduction des fertilisants, apport de matière organique, interculture, etc.) afin de contrôler la quantité de nitrates dans la solution du sol au niveau des parcelles agricoles. Notons que l'inertie des stocks de nitrates en cours de migration à travers les sols implique que ces actions n'auront probablement pas d'effets significatifs sur la qualité des eaux de ces nappes dans le court terme. Pour ce qui est des flux latéraux, (2) et (3), des modifications des pratiques culturales au niveau de la parcelle sont aussi nécessaires pour réduire la quantité de nitrates mise en circulation. Les contraintes techniques de l'agriculture intensive et les aléas climatiques (Lowrance, 1992) limitent la portée de ces modifications. Mais, les flux latéraux sortent de la parcelle agricole et peuvent rencontrer d'autres milieux dont le fonctionnement est susceptible d'agir sur la quantité de nitrates transportés.

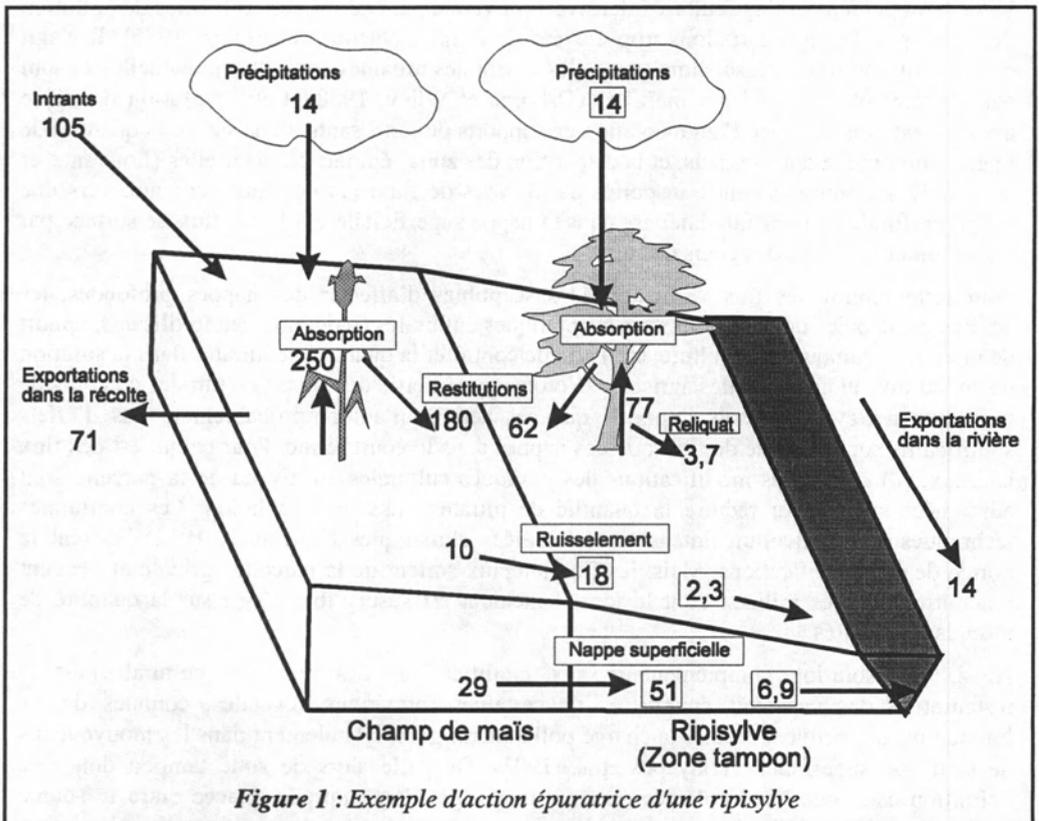
Ainsi, une solution complémentaire aux modifications des pratiques culturales est la restauration des capacités épuratrices de certaines formations végétales, connues depuis longtemps, qui peuvent réduire la charge polluante migrant latéralement dans les mouvements de la nappe superficielle (Haycock et al., 1993). On parle alors de zone tampon dont une définition est: "une bande plantée ou avec une végétation naturelle, placée entre la source polluante et l'eau. L'élimination des polluants est accomplie par divers processus physiques, chimiques ou biologiques" (Muscutt et al., 1993). Plusieurs pays ont entrepris de mettre en place des zones tampons sur ce principe (Krambeck, 1990; Lowrance, 1992; Osborne et Kovacic, 1993; Muscutt et al., 1993). Ces actions visent principalement la réduction des pollutions par les nitrates, mais elles concernent également la lutte contre les pollutions par le phosphore et les sédiments qui sont souvent très préoccupantes (Gough, 1988).

II. Comprendre les conditions d'efficacité des zones tampons contre les nitrates

1 - Dénitrification et absorption: deux processus d'épuration performants

Les processus d'épuration ont été mis en évidence depuis longtemps dans des formations végétales naturelles comme les ripisylves (voir fig. 1) (Peterjohn et Correl, 1984). La confrontation des résultats obtenus dans différents pays montre qu'une ripisylve peut réduire la charge en nitrates de 68-100% dans la nappe superficielle et de 78-98% dans les eaux de ruissellement (Petersen et al., 1992).

Deux processus naturels permettent une épuration des eaux chargées en nitrates dans les zones tampons. Il s'agit d'une part de la dénitrification microbienne anaérobie qui transforme les nitrates en ammonium volatile en consommant du carbone. D'autre part, il y a l'absorption par les végétaux qui fixent les nitrates sous forme organique (Haycock et al., 1993). En outre, les zones tampons réduisent fortement les contaminations directes lors des épandages sur les champs avoisinants les rivières (Omernik et al., 1981).



Dans cet exemple observé aux USA, les valeurs sont des kg d'azote par hectare de la zone concernée (culture ou ripisylve considérée comme zone tampon). L'eau de pluie s'épure partiellement sur les arbres et ne contient qu'un reliquat d'azote en arrivant au sol. La zone tampon permet de réduire de 73,8kg/ha la quantité de nitrates atteignant la rivière, soit une épuration à 89% (51+18+14 d'apports en provenance de la culture et de la pluie, 6,9+2,3 exportés vers la rivière). L'épuration est réalisée à 20% par l'absorption par les végétaux ((77-62)/73,8), à 14% lors du passage de la pluie dans les arbres ((14-3,7)/73,8). On peut en déduire que les phénomènes de dénitrification ou de fixation de l'azote au niveau du sol participent pour 66% à l'épuration. (adapté de Peterjohn et Correl, 1984).

La dénitrification microbienne est considérée comme la voie d'élimination principale d'un point de vue quantitatif sur un cycle annuel (Peterjohn et Correl, 1984; Jacobs et Gilliam, 1985; Cooper et al., 1987; Pinay et Décamps, 1988; Pinay et al., 1993). Mais, l'efficacité de ce processus biologique n'est pas uniforme sur l'année (Groffman et Tiedje, 1989). Lorsque la nappe baisse, en été en particulier, la dénitrification est limitée par la disparition des conditions d'anaérobiose de la surface du sol. L'absorption intervient alors de façon complémentaire et peut maintenir la capacité d'épuration de la zone tampon. En effet, la diminution des lessivages durant la période estivale donne des eaux peu polluées. L'absorption racinaire est alors généralement très active et suffisante contre cette faible pollution (Pinay et al., 1993).

Les deux processus d'épuration correspondent à une exportation des nitrates hors de la zone de filtration: la dénitrification libère de l'azote volatil dans l'atmosphère et l'azote organique absorbé par les végétaux est exporté lors de leur exploitation (pâturage ou coupe forestière). L'épuration n'est donc pas liée à un stockage dont les capacités pourraient se saturer. Notons que ce n'est pas le cas pour le phosphore et les sédiments qui sont principalement stockés dans les zones tampons et qui peuvent ainsi les saturer (Schlosser et Karr, 1981a; Dillaha et al., 1984).

Ces processus sont suffisamment connus aujourd'hui pour que l'on puisse proposer de créer ou restaurer des zones tampons pour contrôler les flux de nitrates vers les aquifères de surface (Lowrance et al., 1984ab; Petersen et al., 1992; Haycock et al., 1993; Osborne et Kovacic, 1993). Le taux de dénitrification observé en laboratoire (350 mgN/m²/j) est bien supérieur à ce qui se mesure dans des ripisylves naturelles (50 mgN/m²/j) (Pinay et Décamps, 1988; Pinay et al., 1993). D'après ces auteurs, il y aurait donc souvent une « sous utilisation » des capacités de dénitrification dans les systèmes naturels. L'aménagement raisonné de zone tampon s'appuyant sur la connaissance des processus en jeu devrait permettre de réaliser des systèmes d'épuration plus efficaces.

2 – Les conditions d'efficacité des zones tampons

1) Des conditions peu modifiables

Certaines conditions nécessaires au bon fonctionnement des processus d'épuration sont peu modifiables par l'homme. Leur connaissance permet de sélectionner des sites présentant un potentiel d'épuration élevé.

La nature du sol s'avère particulièrement importante, comme l'illustre le tableau 1. Les sols peu filtrants sont nettement favorables à la dénitrification (Groffman et Tiedje, 1989; Pinay et al., 1992), probablement parce qu'ils réduisent la vitesse de circulation de l'eau et permettent l'installation de conditions anaérobies. Une carte des sols peut permettre de réaliser des estimations régionales sur les capacités de dénitrification (Groffman et al., 1992).

	Sol argilo-limoneux	Sol sableux
% de la surface	9%	22%
% de la dénitrification totale	44%	5%

Tableau 1: La nature du sol influence la dénitrification

Le bilan de la dénitrification mesurée in situ montre que les sols argilo-limoneux peu filtrants réalisent la majeure partie de la dénitrification alors qu'ils représentent une très faible surface par rapport aux sols sableux, très filtrants. D'après (Groffman et al., 1992).

Le niveau de la nappe superficielle conditionne fortement la dénitrification en déterminant les conditions anaérobies dans le sol (Pinay et Décamps, 1988; Ambus et Lowrance, 1991; Sanchez et al., 1991; Lowrance, 1992; Pinay et al., 1993; Triska et al., 1993). Les variations du niveau de la nappe sont également importantes puisqu'elles agissent sur la circulation du carbone nécessaire à l'activité microbienne de dénitrification. Les crues renouvellent ainsi une grande partie du carbone consommé pour l'épuration (Pinay et al., 1992).

La durée de passage de l'eau dans la zone tampon, fonction de la circulation de la nappe, détermine en grande partie le délai disponible pour l'épuration, donc son efficacité (Triska et al., 1993). La circulation de la nappe superficielle est généralement tangentielle au cours d'eau qui la draine, mais elle peut être très complexe, même dans des conditions topographiques apparemment simples (Pinay et al., 1989; Haycock et al., 1993). Ainsi, il peut y avoir des points de passage privilégié qui concentrent l'essentiel des flux polluants (Pinay et al., 1992). La connaissance de l'hydrologie locale permet de placer les zones tampons sur ces points.

Les anciens bras morts sont souvent des sites de dénitrification particulièrement intense du fait de leur richesse en carbone et du passage privilégié qu'ils offrent au flux, ainsi que par la nature de leurs sols, peu filtrants (Haycock et al., 1993; Triska et al., 1993).

2) Des conditions sur lesquelles on peut agir

Parmi les conditions modifiables par l'homme, la surface, ou la largeur le long d'un cours d'eau, nécessaire pour qu'une zone tampon épure complètement les eaux qui la traversent dépend des facteurs précédemment cités. Dans les ripisylves, il semble que l'épuration peut être quasiment complète après les premiers mètres (Cooper, 1990; Pinay et al., 1993). Ce phénomène peut être expliqué par le potentiel de dénitrification très élevé, mesuré en laboratoire, et les flux tangentiels qui augmentent la durée de réaction. Une largeur d'une dizaine de mètres peut être suffisante dans de nombreuses situations (voir fig.2) (Petersen et al., 1992; Pinay et al., 1993). Des zones tampons de faible largeur peuvent ainsi avoir une action épuratrice très importante; la largeur doit être déterminée en fonction de la quantité de nitrates à éliminer et de la circulation de l'eau.

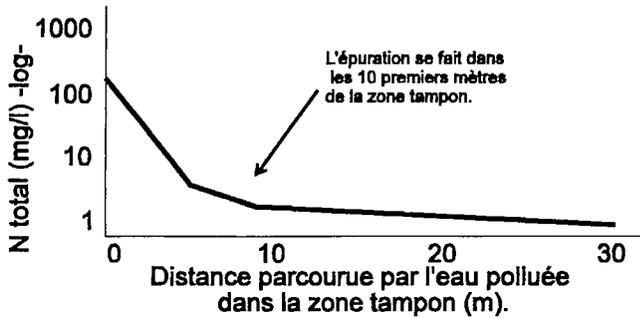


Figure 2: Une épuration dans les premiers mètres de la zone tampon

A partir des résultats portant sur 5 bassins versants, Doyle et ses collègues (1977 in Petersen et al., 1992) montrent que l'élimination des nitrates dans les eaux se fait essentiellement dans les 10 premiers mètres des ripisylves. Le reste de la ripisylve possède encore des capacités d'épuration qui ne sont pas utilisées.

Les actions humaines sur la nature, l'âge et la structure de la végétation sont importantes (Pinay et al., 1992). Une végétation qui a une croissance très active, souvent liée à des phases d'exploitation, est très favorable à l'absorption des nitrates (Lowrance et al., 1984c). Cependant, l'exploitation peut être une cause de détérioration des capacités épuratrices; par exemple les coupes à blanc sur de grandes surfaces provoquent souvent des pics de pollution. La définition des pratiques sylvicoles ou culturales sur la zone tampon, compatibles avec la fonction d'épuration est importante et reste à faire (Haycock et al., 1993; Muscutt et al., 1993). Osborne et Kovacic (1993) ont montré que les arbres étaient plus efficaces que la prairie contre les nitrates; cela se vérifie même dans le cas d'une peupleraie (Haycock et Pinay, 1993).

La régularisation et le sur-créusement des cours d'eau semblent être parmi les actions les plus défavorables à l'épuration (Schlosser et Karr, 1981b; Krambeck, 1990). En effet, elles modifient fortement l'hydrologie en augmentant la vitesse de circulation de la nappe et elles empêchent la reconstitution des stocks de carbone à l'occasion des crues (Pinay et al., 1992).

III. Mettre en place un système d'épuration

1 - Un système d'épuration à concevoir à l'échelle d'un bassin versant

La circulation de l'eau influence et est influencée par la structure du paysage (Risser, 1990), en particulier par son relief, mais aussi par la nature du couvert végétal et sa localisation (Smith, 1992). Le concept « d'hydrologie du paysage » émerge ainsi au sein de l'écologie du paysage (Ferguson, 1992). On peut lui appliquer des approches systémiques qui formalisent la dépendance des différentes unités hydrologiques, de l'amont à l'aval (Van Buuren, 1991). De ce point de vue, la création d'une zone tampon va modifier la nature des flux qui la traversent et par conséquent le fonctionnement des écosystèmes en aval. La modification de l'hydrologie est particulièrement cruciale. Ces répercussions peuvent aller à l'encontre des objectifs de protection de l'environnement, par exemple en réduisant les capacités épuratrices vis à vis d'autres polluants.

Les zones tampons doivent donc s'intégrer dans un plan d'aménagement global. Le petit bassin versant est a priori une échelle pertinente pour étudier et gérer ces processus (Gosselink, 1990). Cette approche hydrologique doit être conduite en intégrant la "multifonctionnalité" des zones

tampons qui filtrent les eaux, abritent des espèces particulières, servent de corridors à d'autres, font de l'ombre sur le cours d'eau, produisent du bois ou d'autres produits et ont une grande valeur esthétique (Nombreuses références).

Les zones tampons sont efficaces principalement contre la pollution des nappes superficielles. Elles agissent peu sur la pollution charriée par le cours d'eau, sauf à l'occasion des crues. Par conséquent, il est clair que l'épuration doit se faire le plus en amont possible, près de l'origine des flux, avant qu'ils ne soient concentrés dans les cours d'eau (Johnston et al., 1990). On estime que la surface totale des zones tampons nécessaires sur les petits cours d'eau est plus faible que celle qu'il faudrait consacrer sur les bords des grandes rivières, sans que ces dernières soient aussi efficaces (Haycock et al., 1993). Des zones épuratrices très petites peuvent être créées le long des fossés, dans les talwegs ou même dans les mouillères au milieu des champs (Haycock et al., 1993). Un réseau de haies, avec des talus, constitue aussi un système très performant de limitation des flux de nitrates, mais aussi d'autres polluants (ADRET, 1987; Ruffinoni et al., 1994).

Les terres susceptibles de porter une zone tampon sont souvent très recherchées par les agriculteurs, du fait de leur proximité avec l'eau, de leur faible relief, de leur sol, etc. qui leur confèrent une forte productivité. Un système d'épuration qui utilise ces terres doit donc se justifier par une action épuratrice avérée et suffisante qui réponde à un problème de pollution.

2 – Diagnostiquer les lieux de pollutions

Pour localiser finement et le plus en amont possible, les sites où les flux de nitrates sont susceptibles de donner lieu à une pollution, il faut aller au-delà d'une analyse globale par bassin versant (McDaniel et al., 1987; Childers et Gosselink, 1990). Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) sont de plus en plus employés pour évaluer ces risques et simuler les effets de différentes options de lutte contre les nitrates. Parmi les différentes tentatives d'utilisation de ces outils (Osborne et Wiley, 1988; Kesner et Meentemeyer, 1989; DeLong et Brusven, 1991; Robinson et Ragan, 1993; He et al., 1993; Hamlett et Epp, 1994), on peut retenir l'exemple du travail mené par Tim et Jolly (1994) avec ARC/INFO. L'article traite à titre d'exemple le problème des sédiments mais les auteurs soulignent que leur méthode est applicable à celui des nitrates ou de tout autre polluant.

Ces auteurs ont formé un système informatique comprenant le SIG ARC/INFO et un modèle d'évaluation de la qualité des eaux (AGNPS de Young et al., 1989 in Tim et Jolly, 1994). Ce modèle nécessite une vingtaine de variables décrivant une « cellule » (unité hydrographique homogène) et son environnement (voir tableau 2); il permet d'évaluer les effets d'un événement pluvieux sur différentes caractéristiques des effluents de la cellule (l'azote total, la quantité de sédiment, etc.). Le SIG permet d'une part de déterminer des unités hydrographiques homogènes (les cellules) et d'autre part d'évaluer et d'introduire les paramètres de chacune de ces cellules dans le modèle. Notons qu'il existe une méthode d'extraction des données nécessaires au modèle AGNPS à partir de ERDAS (Olivieri et al., 1991 in Tim et Jolly, 1994). Les auteurs insistent sur l'intérêt d'une intégration poussée du SIG et du modèle. Elle permet en effet de diagnostiquer rapidement un espace hétérogène dans son ensemble, en considérant qu'il peut être découpé en unités homogènes sur lesquelles on peut appliquer un modèle très performant. Les auteurs ont aussi utilisé le modèle CREAMS (développé par Knisel (1980), in Tim et Jolly, 1994) pour évaluer le transport d'éléments chimiques.

1: N° de la cellule	11: Facteur de gestion (C) USLE
2: Cellule amont	12: Facteur de support (P) USLE
3: Aspect	13: Constante des conditions de sol.
4: Type de couverture du sol	14: Classe de texture du sol
5: Groupe hydrologique du sol	15: Niveau de fertilisation
6: Pente générale	16: Facteur de disponibilité des fertilisants
7: Facteur de forme de la pente	17: Indicateur de source ponctuelle
8: Longueur de la pente	18: Indicateur de source en rigole
9: Coefficient de rugosité de Manning	19: Demande chimique en oxygène
10: Facteur d'érosion (K) USLE (Equation Universelle de Perte de Sol)	20: Facteur de rétention
	21: Indice de canalisation
<i>Tableau 2 : Variables du modèle AGNPS (Tim et Jolly, 1994)</i>	

Ils ont appliqué, à titre d'exemple, leur système informatique à un petit bassin versant d'Iowa (Bluegrass, 413 ha, 90 % de la surface en cultures de maïs et de soja), avec une maille d'un hectare. Ils ont comparé les effets d'une journée de pluie sur la qualité des eaux (uniquement en sédiments dans la publication), dans la situation réelle et dans 3 simulations: (1) la création de zones tampons de 20 m le long des cours d'eau, (2) l'enherbement du pourtour de toutes les parcelles de culture, (3) une combinaison de (1) et de (2). L'hypothèse (3) conduit à une réduction de 71% de la pollution par les sédiments, alors que les autres options ont pour effet des réductions de 47% pour (1) et 41% pour (2).

3 – Comment réaliser pratiquement des systèmes d'épuration ?

Face à la complexité des situations sur le terrain, le responsable d'aménagement qui envisage de lutter contre la pollution par les nitrates ne peut se satisfaire du concept de « zone tampon »: il a besoin de conseils pratiques et applicables. Pour répondre à cette attente, Petersen et ses collègues (1992) proposent 8 aménagements types qui peuvent être combinés pour former un système d'épuration et qui correspondent à différents degrés d'intervention dans l'aménagement de l'espace. Il s'agit (1) de laisser des bandes sans cultures, (2) de revégétaliser le bord des cours d'eau, (3) de créer des petites zones humides pour des pollutions localisées (voir fig. 3), (4) de réduire la pente des berges, (5) de favoriser les méandres, (6) de favoriser les alternances de zones rapides et calmes, (7) de créer des plans d'eau et (8) de maintenir les grandes zones humides inondables.

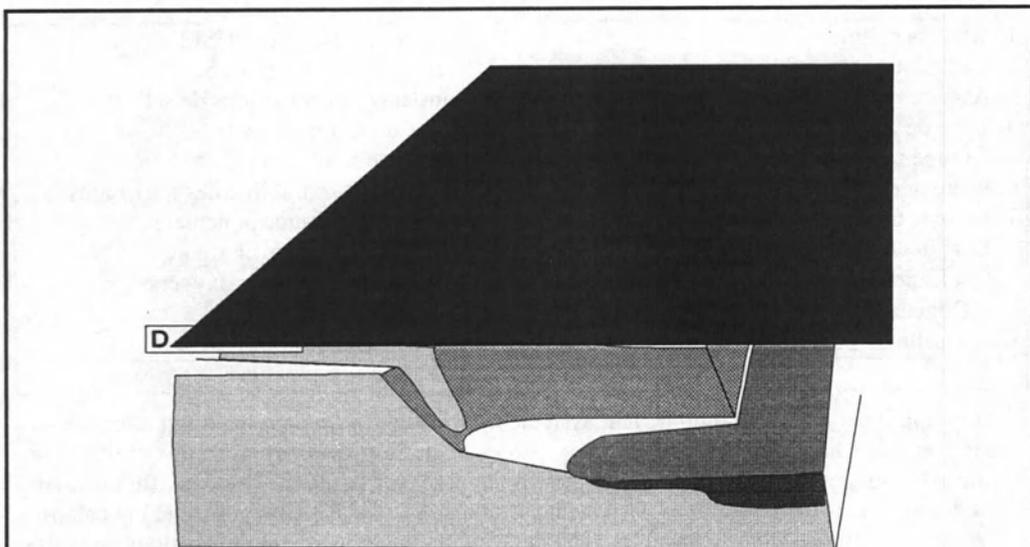


Figure 3 : Une petite zone humide pour les pollutions localisées

A la sortie des drains agricoles, la pollution de l'eau n'est plus diffuse mais concentrée, ce qui rend partiellement inefficace l'épuration par les zones tampons classiques. On peut résoudre ce problème en créant à l'embouchure des drains des petites zones humides où les processus de dépollution peuvent se dérouler plus intensément et dans de meilleures conditions. D'après (Petersen et al., 1992).

Dans la région Midi-Pyrénées, un travail important mené par la Société Chimique de la Grande Paroisse et l'Université du Mirail (Paegelow et al., 1990) a conduit à la proposition de mesures concrètes d'aménagement rural, adaptées au contexte local, pour lutter contre la pollution par les nitrates. Les recommandations sont de conserver les mouillères dans les zones de cultures, d'implanter des bois le long des cours d'eau et de préserver le complexe haie-prairie en fond de vallon. Cet exemple montre que le contrôle des nitrates passe probablement par la conjonction de plusieurs mesures complémentaires raisonnées au niveau d'un petit bassin versant, dans le cadre d'un aménagement du territoire.

IV. Conclusion

Suite à cette synthèse bibliographique, il apparaît que les connaissances scientifiques sont suffisantes pour envisager la création ou l'entretien de formations végétales tampons capables d'épurer les eaux de la nappe superficielle d'une partie de ses polluants, dont les nitrates. La connaissance des processus écologiques d'épuration permet de cerner les principales conditions d'efficacité des zones tampon. Leur mise en oeuvre doit se concevoir à l'échelle d'une unité hydrographique, en intervenant le plus en amont possible.

Les conditions d'épuration ne sont pas contradictoires avec une exploitation des zones tampons, même intensive. La production de bois ou le pâturage sont souvent possibles. Cependant, certaines situations, comme des boisements linéaires sur les petits cours d'eau, ne permettent pas d'en tirer un revenu. Il revient aux pouvoirs publics de concevoir ces zones non pas comme des outils de production, mais comme des services pour la collectivité, et de prendre les mesures nécessaires à leur développement.

Par ailleurs, quelques données semblent montrer que les zones tampons sont moins coûteuses à la société que d'autres mesures d'efficacité comparable. Par exemple, les coûts estimés pour

réduire de 50% les émissions d'azote vers la mer Baltique (Rosenberg et al., 1990, in Petersen et al., 1992) sont de:

- 0,6 \$/kg N éliminé par la restauration des zones tampons épuratrices,
- ou de 2 à 50 \$/kg N éliminé par des mesures agricoles de modification des pratiques,
- ou de 15 à 30 \$/kg N éliminé par le traitement des eaux usées municipales.

Ces estimations ne tiennent pas compte des autres rôles (récréatif, esthétique, écologique, cynégétique, etc.) de ces zones tampons (Lowrance et al., 1985).

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier du Conseil Régional de Midi-Pyrénées et de l'INRA dans le cadre de l'AIP Agroforesterie et Forêt Paysanne.

V. Références bibliographiques

ADRET. 1987. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion hydrique des sols dans les coteaux du sud-ouest. Rapport d'étude pour le ministère de l'environnement et pour le ministère de l'agriculture.

Ambus, P. and Lowrance, R. 1991. Comparison of denitrification in two riparian soils. *Soil Science Soc.America J.*, 55(4):994-997

Childers, D.L. and Gosselink, J.G. 1990. Assessment of cumulative impacts to water quality in a forested wetland landscape. *J. Environ. Qual.*, 19(3):455-464

Cooper, A.B. 1990. Nitrate depletion in the riparian zone and stream channel of a small headwater catchment. *Hydrobiologia*, 202:13-26

Cooper, A.B., Hewitt, J.E. and Cooke, J.G. 1987. Land use impacts on streamwater nitrogen and phosphorus. *N.Z. J. For. Sci.*, 17:179-192

Delong, M.D. and Brusven, M.A. 1991. Classification and spatial mapping of riparian habitat with applications toward management of streams impacted by nonpoint source pollution. *Environ. Manag.*, 15(4):565-571

Dillaha, T.A., Sherrard, J.H. and Lee, D. 1984. Long-term effectiveness and maintenance of vegetative filter strips. *Virginia water resource research center*, 153:1-39

Ferguson, B.K. 1992. Landscape hydrology, a component of landscape ecology. *J. Environ. Syst.*, 21(3):193-205

Gosselink, J.G., Shaffer, G.P., Lee, L.C. and Al. 1990. Landscape conservation in a forested wetland watershed. *BioScience*, 40(8):588-600

Gough, S.C. 1988. Stream water quality protection using vegetated filter strips: structure and function related to sediment control. Thesis of the faculty of the graduate School, University of Missouri-Columbia.

Groffman, P.M. and Tiedje, J.M. 1989. Denitrification in North temperate forest soils: Spatial and temporal patterns at the landscape and seasonal scales. *Soil Biology and Biochemistry* 21:613-620

Groffman, P.M., Tiedje, J.M., Mokma, D.L. and Simkins, S. 1992. Regional scale analysis of denitrification in North temperate forest soils. *Landscape Ecology*, 7(1):45-53

- Hamlett, J.M. and Epp, D.J. 1994. Water quality impacts of conservation and nutrient management practices in pennsylvania. *J. Soil Water Conserv.*, 49(1):59–66
- Haycock, N.E. and Pinay, G. 1993. Nitrate retention in grass and poplar vegetated riparian strips during the winter. *J. Env. Qual.* 22(2):273–278.
- Haycock, N.E., Pinay, G. and Walker, C. 1993. Nitrogen retention in river corridors: european perspective. *Ambio XXII(6)*:340–346.
- He, C.S., Riggs, J.F. and Kang, Y.T. 1994. Integration of geographic information systems and a computer model to evaluate impacts of agricultural runoff on water quality. *Water Resources Bulletin*, 29(6):891–900
- Jacobs, T.C. and Gilliam, J.W. 1985. Riparian losses of nitrates from agricultural drainage waters. *J. Environ. Qual.*, 14(4):472–478
- Johnston, C.A., Detenbeck, N.E. and Niermi, G.L. 1990. The cumulative effects of wetlands on stream water quality and quantity: a landscape approach. *Biogeochemistry*, 10:105–141
- Kesner, B. and Meentemeyer, V. 1989. A regional analysis of total nitrogen in an agricultural landscape. *Landscape Ecology*, 2(3):151–163
- Knisel, W.G. (ed.) 1980. CREAMS: A field scale model chemicals, runoff, and erosion from agriculture management systems. Conserv. Res. Rep. 20. USDA–ARS, Washington, DC.
- Krambeck, C. 1990. Water quality protection by retention of agricultural nonpoint source pollutants in riparian buffer strips and other wetland types. A review. Document photocopié.
- Lowrance, R. 1992. Sustainable agriculture research at the watershed scale. *J. Sustainable Agric.*, 2(3):105–111
- Lowrance, R., Todd, R.L., Asmussen, L.E. 1984a. Nutrient cycling in an agricultural watershed: II Streamflow and artificial drainage. *J. Environ. Qual.*, 13(1):27–32
- Lowrance, R., Todd, R.L., Asmussen, L.E. 1984b. Nutrient cycling in an agricultural watershed: I Phréatic movement. *J. Environ. Qual.*, 13(1):22–27
- Lowrance, R., Todd, R., Fail, J., Hendrickson, O., Leonard, R. and Asmussen, L. 1984c. Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds. *BioScience*, 34:374–377
- Lowrance, R., Todd, R.L. and Asmussen, L.E. 1983. Waterborne nutrient budgets for riparian zone of an agricultural watershed. *Agric., Ecosystems Environ.*, 10:371–384
- Lowrance, R.R., Leonard, R. and Sheridan, J. 1985. Managing riparian ecosystems to control non point pollution. *J. Soil Water Conserv.*, 40:87–91
- McDaniel, T.W., Hunsaker, C.T. and Beauchamp, J.J. 1987. Determining regional water quality patterns and their ecological relationships. *Environ. Manag.*, 11(4):507–518
- Muscutt, A.D., Harris, G.L., Bailey, S.W. and Davies, D.B. 1993. Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in U.K. agriculture. *Agric., Ecosystems Environ.*
- Olivieri, L.J., Schaal, G.M., Logan, T.J., Elliot, W.J. and Motch, B. 1991. Generating AGNPS input using remote sensing and GIS. ASAE Pap. 91–2622. ASAE, St Joseph, MI.
- Omernik, J.M., Abernathy, A.R. and Male, L.M. 1981. Stream nutrient levels and proximity of agricultural and forest land to streams: some relationships. *J. Soil Water Conserv.*, 36:227–231
- Osborne, L.L. and Kovacic, D.A. 1993. Riparian vegetated buffer strips in water–quality restoration and stream management. *Freshwater Biology*, 29:243–258

- Osborne, L.L. and Wiley, M.J. 1988. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. *J. Environ. Manag.*, 26:9–27
- Paegelow, M., Decroux, J., Hubschman, J. and Puginier, M. 1990. Des mesures simples d'aménagement rural contre la pollution par les nitrates: l'exemple d'Aurade (Gers, France). in *Nitrates, Agriculture, Eau. INRA, Paris*, 7–8nov, :101–106
- Peterjohn, W.T. and Correl, D.L. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65(5):1466–1475
- Petersen, R.C., Petersen, L.B.M. and Lacoursiere, J.O. 1992. Restoration of lowland streams: the building block model. *Vatten*, 46:244–249
- Pinay, G. and Decamps, H. 1988. The role of riparian woods in regulating nitrogen fluxes between the alluvial aquifer and surface water: a conceptual model. *Regulated Rivers*, 2:507–516
- Pinay, G., Décamps, H., Arles, C. and Lacassin-Sérès, M. 1989. Topographic influence on carbon and nitrogen dynamics in riverine woods. *Archiv für Hydrobiologie*, 114:401–414
- Pinay, G., Fabre, A., Vervier, P. and Gazelle, F. 1992. Control of C,N,P distribution in soils of riparian forests. *Landscape Ecology*, 6(3):121–132
- Pinay, G., Roques, L. and Fabre, A. 1993. Spatial and temporal patterns of denitrification in a riparian forest. *J. Applied Ecology*, 30:581–591
- Risser, P.G. 1990. Landscape pattern and its effects on energy and nutrient distribution. In *Changing landscapes: an ecological perspective*. Zonneveld I.S. and Forman R.T.T (Eds.), Springer-Verlag, :45–56
- Robinson, K.J. and Ragan, R.M. 1994. Geographic information system based nonpoint pollution modelling. *Water Resources Bulletin*, 29(6):1003–1008
- Ruffinoni, C., Gazelle, F. and Deconchat, M. 1994. Des boisements au service de la qualité des eaux. *Revue de l'Agence de bassin Adour Garonne*.
- Sanchez, J.M., Tremolieres, M. and Carbiener, R. 1991. Une station d'épuration naturelle des phosphates et nitrates apportés par les eaux de débordement du Rhin: la forêt alluviale à frêne et orme. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312(3):395–402
- Schlosser, I.J. and Karr, I.R. 1981a. Water quality in agricultural watersheds: impact of riparian vegetation during baseflow. *Water Resources Bulletin.*, 17:233–240
- Schlosser, I.J. and Karr, J.R. 1981b. Riparian vegetation and channel morphology impact on spatial patterns of water quality in agricultural watersheds. *Environ. Manag.*, 5:233–243
- Smith, C.M. 1992. Riparian afforestation effects on water yields and water quality in pasture catchment. *J. Environ. Qual.*, 21(2):237–245
- Tim, U.S. and Jolly, R. 1994. Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrated Geographic Information Systems and Hydrologic/water quality model. *J. Environ. Qual.*, 23:25–35
- Triska, F.J., Duff, J.H. and Avanzino, R.J. 1993. Patterns of hydrological exchange and nutrient transformation in the hyporheic zone of gravel-bottom stream: examining terrestrial – aquatic linkages. *Freshwater Biology*, 29:259–274
- Van Buuren, M. 1991. A hydrological approach to landscape planning: the framework concept elaborated from hydrological perspective. *Landscape & Urban Planning*, 21:91–107

Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D., and Anderson, W.P. 1989. AGNPS, a nonpoint source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *J. Soil Water Conserv.* 44:168–173

Sylvicultures

Relations entre gestion et structure dans les systèmes boisés d'exploitations agricoles

Alain Cabanettes¹ – Jean-Paul Guyon²

(1) INRA – Unité Agroforesterie et forêt paysanne
Chemin de Borde-Rouge, 31326 Auzeville
Tél. 61 28 50 28 – Fax 61 28 53 72

(2) ENITA
1, cours du Général De Gaulle, 3317 Gradignan Cedex
Tél. 57 35 07 07 – Fax 57 35 07 09

I – Introduction

Dans le contexte de réorganisation de l'espace rural, dû aux nécessités récentes de mutation du monde agricole, il y a recherche de diversification des activités des agriculteurs. Parmi leurs activités actuelles, les agriculteurs pratiquent, mais souvent de manière marginale, la gestion d'une portion boisée de leur exploitation.

Les statistiques nationales montrent que ces bois représentent des structures très morcelées. Mais leur surface correspond à une proportion importante de la forêt française, qu'il serait intéressant de mieux connaître pour étudier la possibilité d'en améliorer la qualité et la production, afin de contribuer à redresser la balance commerciale bois. Cette connaissance permettra également d'anticiper les mesures nécessaires au cas où le nombre d'agriculteurs gérant cette forêt viendrait à chuter fortement.

Ainsi, 43% des exploitations agricoles possèdent des surfaces boisées, et ces surfaces représentent, avec 2,2 millions d'hectares, 15% de la surface forestière française et 25% de la forêt privée en France. Par ailleurs, on constate que la surface moyenne par exploitation est, avec 5 ha, supérieure à celle des autres propriétaires privés (2,6 ha). Cette situation favorable, associée aux possibilités techniques importantes et à la présence permanente des agriculteurs, permet d'envisager une plus forte mobilisation que dans le reste de la forêt privée. Au niveau régional, la forêt paysanne est principalement localisée dans le Sud-ouest, particulièrement en région Midi-Pyrénées où elle atteint 18 % du total national et 43% de la forêt privée régionale.

Ces deux besoins (diversifier les activités agricoles et augmenter la production nationale de bois) font converger les recherches vers l'étude des potentialités de mobilisation, voire d'extension, de ces bois agricoles. Pour cela, il faut à la fois connaître leur structure, leur gestion actuelle et passée, et les intentions des agriculteurs face à des hypothèses concernant l'augmentation de la valeur de leurs bois moyennant un minimum d'investissement de leur part. Alors que dans ce dernier cas, il faut procéder nécessairement par enquêtes auprès des intéressés, la connaissance de la gestion actuelle et passée peut être déduite de la structure du manteau boisé repéré à différentes périodes.

L'objectif du présent projet est double. Il s'agit d'une part de contribuer à connaître la forêt paysanne au-delà de statistiques générales souvent incomplètes et morcelées, et particulièrement en ce qui concerne leur structure. En effet, on dispose par exemple de données à partir de surfaces minimales de plusieurs hectares sans précision de l'activité du gestionnaire (CRPF), ou de données très précises sur la structure de tous types de boisement bien localisés

mais sans information sur leur gestion (IFN), ou encore d'indications sur la gestion forestière d'agriculteurs dépourvues de la localisation des boisements concernés (chambres d'agriculture), ou de surfaces globales par commune (RGA). D'autre part, il s'agit d'analyser la dynamique d'évolution et de gestion des formations boisées au sens large (bois, landes boisées, alignements et arbres isolés) afin d'appréhender sur une durée suffisante la place de la forêt paysanne dans l'exploitation en fonction de la région (facteurs naturels et culturels) et de l'exploitant (type d'activité agricole). En effet, la structure de ces formations traduit leur capacité à réagir aux modes de conduite passés et actuels et permet de déterminer les événements qui perturbent les différents modes de conduite.

II - Méthodologie

Les auteurs ont engagé des recherches spécifiquement en région Midi-Pyrénées. Mais d'autres travaux du même type ont démarré dans les régions Languedoc-Roussillon et Aquitaine, sous un angle particulier, et nous y ferons également allusion..

2.1 Démarche adoptée en région Midi-Pyrénées

Nous avons fait le choix de travailler à l'échelle de la commune. Le site retenu est celui du canton d'Aurignac, situé dans une région de coteaux à polyculture du sud de la Haute Garonne. Ce premier site a le mérite d'être le lieu d'un ensemble de recherches interdisciplinaires menées depuis plusieurs années par l'URSAD (INRA de Toulouse) concernant les activités agricoles et la forêt des agriculteurs. La première étape consiste à rechercher où, quand et comment les surfaces des différentes formation boisées ont évolué ; on utilise pour cela des données précises de terrain concernant la localisation et la structure des formations boisées à différentes périodes entre les années 40 et le début des années 1990. Après validation, ces données sont informatisées au moyen d'un Système d'Information Géographique pour en extraire efficacement toute l'information spatio-temporelle. Dans une deuxième étape, on essaie de savoir pourquoi cette évolution s'est produite en effectuant des enquêtes auprès des mairies pour rattacher ces formations à des acteurs agricoles ou non-agricoles.

2.1.1 Utilisation de photos aériennes IGN

Nous utilisons des lots de photographies de l'IGN prises en 1942, 1953, 1962, 1971, 1979 et 1992, c'est à dire environ tous les dix ans. Ce sont des photos stéréoscopiques et panchromatiques en noir et blanc dont l'échelle varie entre le 1/20 000* et le 1/35 000 *

2.1.2 Photointerprétation

Une interprétation de ces photos par type de formation boisée a été effectuée par M. Bessière (SCEES Toulouse) sur 4 communes du canton d'Aurignac. Il a ainsi été possible de distinguer : les zones à pâturage peu intensif ou friches, les landes (formations buissonnantes fermées comportant au moins 25% de ligneux mais peu d'arbres), les landes boisées (couvert boisé d'au moins 10% de hauts-ligneux, mais où l'homme n'est pas intervenu), les haies, les arbres isolés et les bois.

Pour ces derniers, un découpage fin a pu être réalisé en distinguant : les futaies feuillues ou résineuses, les taillis simples, les taillis pauvres en réserves (couvert < 25%), et les taillis avec

réserves (couvert > 25%) De plus, les trois types de taillis ont été subdivisés en taillis jeunes (< 10 ans) et taillis adultes (> 10 ans).

En ce qui concerne les éléments linéaires, des sous-classes ont été créées selon la continuité ou non de la ligne, la présence ou l'absence de haut-ligneux et leur importance relative.

Enfin, les arbres isolés dans les champs ont été classés en trois catégories selon la grosseur du houppier.

2.1.3 Utilisation du cadastre

C'est le fond cadastral qui a été préféré comme trame de base pour reporter l'information. En effet, les parcelles boisées correspondent souvent à des parcelles cadastrales entières, ce qui facilite le report des couvertures végétales et le rend plus précis. D'autre part, l'échelle au 1/5 000^e est plus précise que celle des cartes IGN (1/25 000^e). Enfin, le cadastre est également la base de la définition des propriétés et de leur type.

2.1.4 Validations

Des vérifications ont été effectuées par sondage sur le terrain pour tester la validité des interprétations visuelles. Elles ont permis de constater la grande fiabilité des données quant à la nature des formations boisées, et leur localisation. Dans le cadre de l'une des communes (Eoux), la comparaison des surfaces totale, labourable et en bois avec les chiffres donnés par le Recensement Général Agricole a constitué une autre forme de vérification, tout aussi positive.

2.1.5 Informatisation des données

Toutes ces données sont en cours de stockage au moyen d'un Système d'Information Géographique, où la structure cadastrale est numérisée. Elles seront ainsi rapidement accessibles, visualisables et interrogeables à l'aide de critères multiples. Elles seront complétées par i) une base de données administratives contenant des informations sur le type de propriété et de propriétaire associé à chaque formation boisée, récoltées à partir de la matrice des sections ; ii) une base de données sur les caractéristiques du milieu (topographie, pédologie,...).

2.1.6 Récolte d'informations complémentaires

Dans une deuxième étape, des enquêtes effectuées auprès d'un échantillon d'agriculteurs permettront de valider les évolutions de surfaces simulées par le SIG, de conforter les liaisons structure-gestion construites sur la seule structure, et de préciser la place du bois dans l'activité agricole, en particulier son utilisation.

2.2 Démarche adoptée dans d'autres régions

En Aquitaine, l'Institut de Géographie de Bordeaux (M. Lebigre) s'est associé à la même thématique selon une approche plus « géographique ». Le projet concerne deux échelles d'étude, le canton et le département. Il consiste à analyser d'une part les facteurs naturels expliquant la présence et la répartition de la forêt paysanne, et d'autre part à prendre en compte les facteurs historiques et culturels expliquant la structure et l'utilisation de la forêt paysanne actuelle et passée. Le but reste, comme en Midi-Pyrénées, d'utiliser les facteurs évolutifs des formations boisées mis en évidence pour faire une projection vers l'avenir.

EOUX : Surfaces en forêts

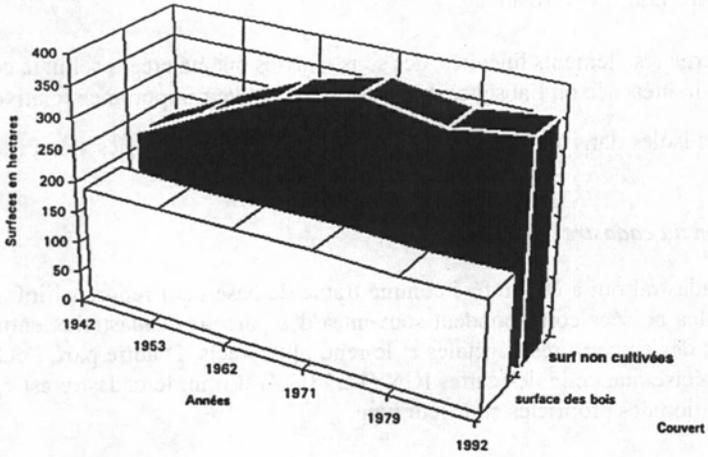


Figure 1

EOUX: Bords de cours d'eau

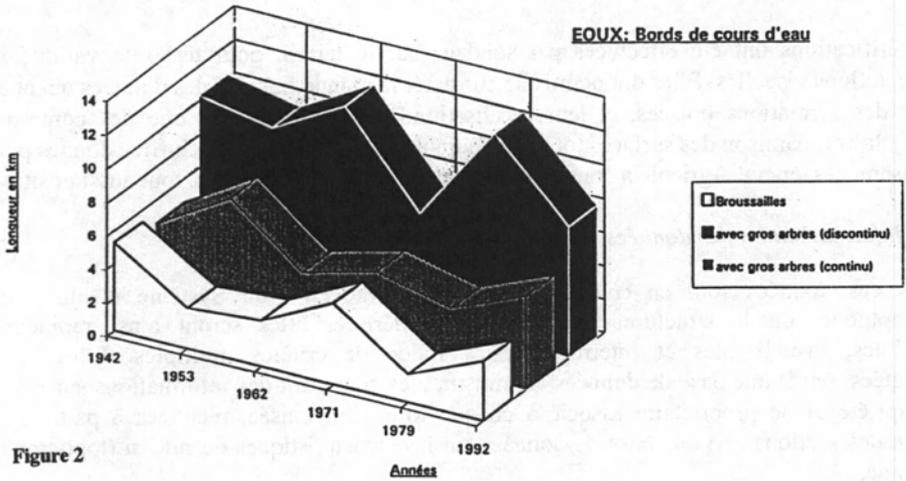


Figure 2

EOUX: Haies avec grands arbres

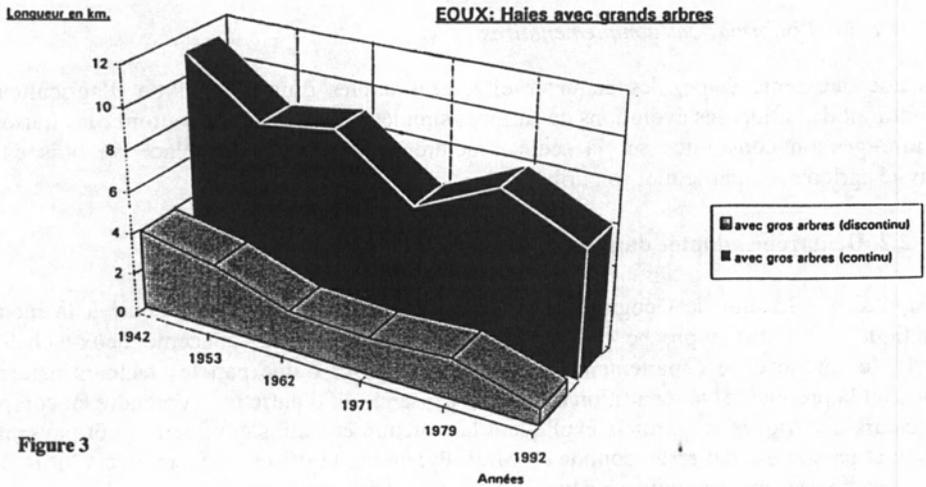


Figure 3

En Languedoc-Roussillon, M. Etienne (INRA-SAD) a déjà fait réaliser une étude également projective sur l'évolution de l'occupation du territoire par les formations végétales de toutes natures (landes, landes boisées, bois, prairies et culture) entre les années 40 et 90. L'objectif est de mettre en évidence les tendances statistiques d'évolution de ces formations dans un souci de prédiction d'ordre paysager (*Simulation de l'impact du développement de l'agroforesterie ou de la jachère sur la dynamique du paysage. Cinq études de cas en région méditerranéenne*. E. Drouin, 1994).

III – Premiers résultats (commune d'Éoux)

3.1 Évolution des surfaces boisées entre 1942 et 1992

3.1.1 Bois : la **figure 1** montre l'étonnante stabilité des surfaces de bois, que l'on peut interpréter comme le résultat d'une compensation entre les déboisements et les boisements d'origine naturelle. En revanche, les surfaces totales non-cultivées ont augmenté jusqu'en 1971, puis se sont stabilisées, ce qui correspond principalement à l'évolution des surfaces en herbe peu pâturées vers les landes et landes boisées, ces dernières finissant par devenir des bois.

3.1.2 Bords des cours d'eau (figure 2) : il semble qu'il y ait un rythme de gestion de l'ordre de 20 ans, sans tendance particulière sur le long terme. Ce rythme pourrait correspondre à un entretien des cours d'eau, puisque le sens d'évolution des lignes avec gros arbres continus alterne avec celui des lignes avec gros arbres discontinus.

3.1.3 Haies (figure 3) : on assiste à une diminution forte et régulière de la longueur des haies, avec ou sans gros arbres. Cette évolution est certainement due au remembrement, mais aussi au fait que certaines haies avec grands arbres ont fini par être incluses dans des landes boisées. Entre 1971 et 1979, le rôle écologique des haies récemment « redécouvert » pourrait expliquer la légère augmentation (plantation de haies sous l'effet d'incitations pouvant être financières ?).

3.1.4 Arbres isolés dans les cultures (figure 4) : il y a une forte diminution des nombres quel que soit la dimension, qui peut atteindre près de 75%, jusqu'en 1971. Ce recul peut s'expliquer par le remembrement, l'agriculture productiviste de cette période, mais aussi par l'extension des prairies naturelles. Après 1979, il y a un recul de l'élevage (quotas laitiers, chute des cours de la viande) et évolution vers la polyculture.

3.1.5 Friches et landes (figure 5) : les friches augmentent jusqu'en 1962, sans doute en relation avec le développement de l'élevage ovin, caprin et bovin. Ensuite, les problèmes d'élevage ont entraîné la conversion de prairies en terres labourables, et certaines friches ont pu devenir landes, ces formations continuant d'augmenter jusqu'en 1971. Bien que reprises en partie entre 1971 et 1979, la crise de l'élevage aboutit à leur réaugmentation.

3.1.6 Les taillis (figure 6) : on constate la prédominance des taillis âgés avec réserve normale de 1942 à 1962, et une augmentation de la surface de ce couvert. Cette augmentation peut s'expliquer par les aides F.F.N. au reboisement qui datent de 1946. Mais cette surface chute de 1962 à 1971, ce qui pourrait correspondre aux premières exploitations et/ou à des conversions en futaie. L'apparition des taillis jeunes correspond au recépage des taillis âgés.

EOUX: Arbres isolés dans les cultures

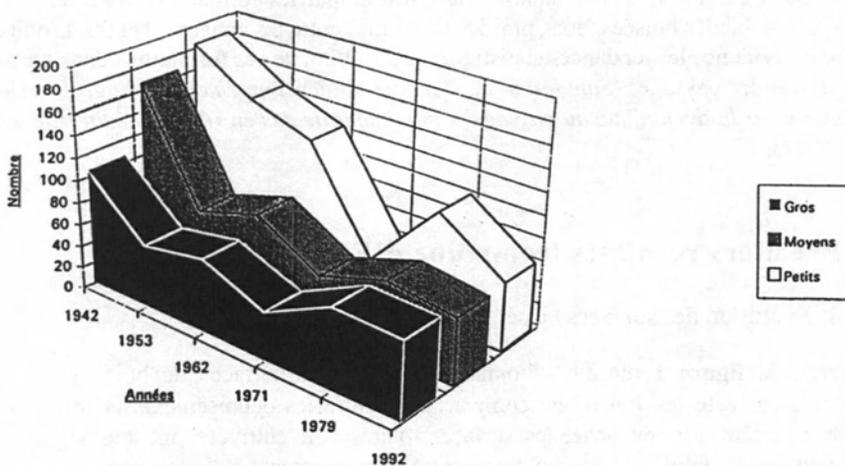


Figure 4

EOUX : Surfaces en friches et landes

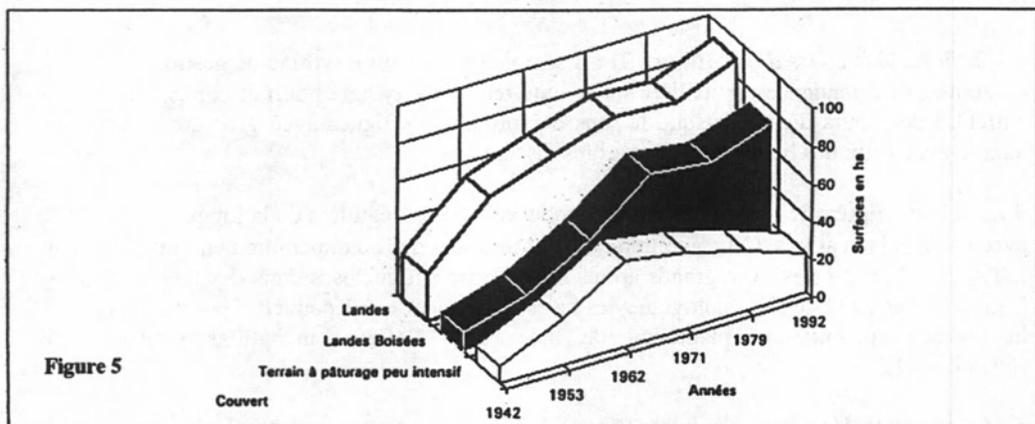


Figure 5

EOUX - Tailis

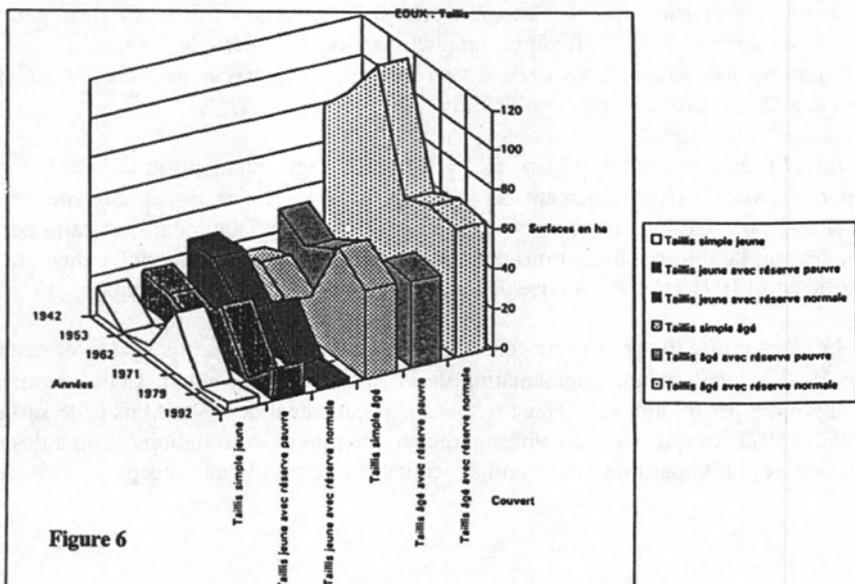


Figure 6

3.1.7. *Les futaies* sont très peu représentées (quelques hectares), et n'apparaissent qu'en 1962 pour les résineux et en 1971 pour les feuillus. On peut mettre ces apparitions au crédit des aides FFN, les feuillus mettant plus de temps à parvenir au stade futaie adulte.

3.2 Premières approches de terrain

Au-delà des évolutions statistiques moyennes, nous avons effectué deux reconnaissances de terrain pour avoir quelques idées des structures au sol et de leur variabilité intra-parcellaire. Les remarques suivantes peuvent en être tirées :

À l'intérieur d'une même parcelle, on trouve très fréquemment des sous-unités de gestion, dont certaines sont liées à des différences de propriété, mais d'autres à une exploitation tournante en « coupons ». Ainsi, on trouve des taillis sous-futaie dans lesquels les prélèvements d'arbres semblent effectués au hasard, en fonction de besoins immédiats. Dans d'autres cas, on a la juxtaposition de sous-parcelles de différentes classes d'âge, qui témoignent d'une récolte périodique de la forêt.

Par ailleurs, nous avons été amenés à comparer les bois avec les landes boisées, ces dernières pouvant être considérées comme des bois où l'homme n'est pas encore intervenu, d'origine naturelle. On a donc affaire dans ce cas à des bois sans sylviculture, situés souvent dans des lieux moins accessibles, résultant par exemple de l'abandon d'une parcelle en herbe avec envahissement progressif des ligneux à partir d'une haie voisine. La structure de ces bois, sur terrain riche, nous a paru assez satisfaisante, avec notamment une bonne diversité en espèces (merisiers, alisiers) et une bonne croissance compte-tenu de l'âge estimé à partir des photographies aériennes. Une réflexion doit être menée de manière plus approfondie pour déterminer les facteurs de réussite des boisements naturels, et connaître les cas où une intervention humaine est nécessaire..

IV - Conclusions et perspectives

Les données récoltées sur les quatre communes de ce canton de côteaoux de la Haute garonne ne prétendent pas être représentatives de la région Midi-Pyrénées. Elles ont toutefois le mérite de représenter un cas intéressant, où une petite région de polyculture et d'élevage a dû et doit encore s'adapter à l'évolution rapide du monde agricole européen. D'autre part, ce site a fait l'objet de plusieurs années de recherche de l'URSAD de Toulouse sur les systèmes agricoles, et il est donc très favorable pour comprendre les phénomènes et les enjeux en cause, y compris à l'échelle des paysages et du point de vue esthétique.

Nous prévoyons malgré tout d'étendre nos recherches à d'autres sites ayant des caractéristiques très différentes, de manière à repérer les tendances générales et celles qui dépendent étroitement du milieu et des pratiques locales. Ainsi, la même démarche pourrait être appliquée à une commune de moyenne montagne du Nord-Aveyron, axée sur l'élevage bovin. Un troisième site sera recherché en 1995, dans les zones les plus sèches de la région, en limite avec le Languedoc-Roussillon, où l'installation tant naturelle qu'artificielle de la forêt présente des difficultés tout autres avec des dynamiques beaucoup plus lentes (cf E. Drouin, 1994).

Sur le plan méthodologique, des progrès sont encore à faire pour accélérer les recherches, notamment en ce qui concerne la précision de l'information issue de la photointerprétation.

Nos résultats ont toutefois fait apparaître déjà des tendances générales :

- les surfaces du RGA en bois et forêts pour une commune donnée sont très sous-estimés, puisque dans la commune d'Eoux, en 1979, le chiffre RGA est de 44,90 ha, alors que la surface en bois photointerprétés est de 175 ha. La différence est due au fait que le RGA ne prend en compte que les exploitations dont le siège est dans la commune, et que certaines forêts ne sont pas gérées par des agriculteurs. La première cause renvoie au phénomène de la conservation des bois par les propriétaires qui quittent la commune ou l'exploitation.
- les haies et les arbres isolés, éliminés à certaines époques, ne sont pas renouvelés
- la forêt paysanne montre une gestion de type « récolte » sous forme de sous-parcelles, voire d'arbres épars dans les peuplements, sans doute liée à des besoins assez aléatoires.
- la surface en bois est peu variable entre 1942 et 1992, et le boisement naturel joue un rôle important dans cette stabilité (cf E. Drouin, 1994).
- ces boisements naturels constituent une ressource qui peut être importante, tant en quantité qu'en qualité. Des interventions humaines judicieuses pourraient permettre dans certains cas d'en tirer profit parallèlement aux boisements artificiels.

Culture d'arbres à bois précieux

Jean-Luc Guitton

Cemagref, groupement de Clermont-Ferrand
Division Techniques forestières
Domaine de Lалуas, 63200 Riom
Tél. 73 38 20 52 – Fax 70 45 19 46

I – De la culture de peuplements à la culture d'arbres

« Imiter la nature, améliorer son oeuvre » enseignait PARADE à la fin du XIX^e siècle pour définir la sylviculture.

En cette fin de vingtième siècle, cette maxime inspire encore largement la sylviculture classique : la gestion des peuplements forestiers qu'ils proviennent de régénérations naturelles ou de plantations s'appuie pour la pratique des éclaircies sur la courbe de mortalité naturelle. Cette gestion permet de produire la biomasse maximale à l'hectare et assure la pression de sélection la plus forte. Cependant, les arbres sont maintenus dans un état de compétition élevée, ont une croissance individuelle réduite, ce qui allonge la révolution : les chênes de Tronçais sont maintenus très serrés pendant une soixantaine d'années pour faire monter les houppiers, profiter de l'élagage naturel et obtenir des billes de pied très hautes. La durée de la révolution est de 225 ans. Le revers de ces sylvicultures en peuplements monospécifiques équiennes est la relative sensibilité aux aléas climatiques (coups de vent, sécheresse) et aux attaques parasitaires. Chacun connaît des cas de chablis ou d'attaques parasitaires dans des plantations résineuses éclaircies trop tardivement.

Du fait de la difficulté d'écoulement des produits de dépressage ou d'éclaircie, du coût des plantations, on a réduit les densités de plantation tant en feuillu qu'en résineux. Les densités minimales admises par le Fond Forestier National pour le douglas ont baissé de 3000 plants/ha en 1950 à 2500 en 1960, 1820 en 1965, 1320 en 1974, 1110 en 1970. Actuellement, le seuil de densité minimale est de 600 tiges/ha pour cette essence. La conséquence principale est l'allongement de la phase de « croissance libre » du peuplement, phase de première jeunesse où les arbres ne sont pas en compétition pour la partie aérienne. Les branches basses ne meurent pas et grossissent au point que les noeuds laissés dans le bois peuvent devenir des défauts dans des utilisations qui exigent de la résistance mécanique.

RIOU-NIVERT (1989) a montré qu'en douglas, avec une classe de production moyenne, une densité inférieure à 570 tiges/ha entraînait des noeuds tels que les planches produites ne répondaient plus aux exigences du CTBA. La parade est l'élagage artificiel qui supprime les branches basses vivantes, donc les noeuds et permet en plus une amélioration de la cylindricité du tronc. Avec les feuillus précieux, il faut également pratiquer des tailles de suppression des fourches beaucoup plus nombreuses qu'en résineux.

La taille de formation de la bille de pied élaguée est coûteuse et il apparaît vite intéressant de ne pratiquer ces travaux que sur les arbres qui constitueront le peuplement final, soit de 200 à 300 tiges en résineux, autour de 80 tiges/ha en feuillu.

On parvient ainsi à la notion de culture d'arbres par opposition à la culture de peuplement de la sylviculture classique.

La culture d'arbres est donc une forme intensive de sylviculture où on s'intéresse très tôt dans la révolution au peuplement final à qui on prodigue soins et attentions pour la formation de la bille

de pied et l'obtention d'une croissance maximale. Cette définition est très proche de ce que M. HUBERT (1993) qualifie de ligniculture.

Cette culture d'arbres nouvelle pour des résineux comme le douglas, le mélèze, pour des feuillus précieux comme le merisier et l'érable, des feuillus sociaux comme le chêne rouge est classique pour les peupliers et les noyers. Ces essences sont en effet plantées à densité définitive ou quasi définitive de 200 à 100 tiges/ha. Les plantations sont désherbées pour assurer une croissance des arbres maximale. Ils sont taillés et élagués pour former des grumes de pied de 2 à 8 m de hauteur. La nouveauté tient donc en ce qu'on veuille étendre ce type de sylviculture à d'autres essences.

II – Contraintes et avantages

Les contraintes sont d'ordre technique

La diminution de la pression de sélection

En diminuant la pression de sélection, on risque de ne pas pouvoir trouver le nombre de tiges d'avenir de qualité recherché.

L'obligation des tailles

Les travaux de taille et d'élagage doivent être faits au bon moment sous peine que la déformation de la tige soit durable, que les branches deviennent trop grosses et que la cicatrisation soit mauvaise : c'est une exigence annuelle pour les feuillus en condition de forte croissance ; elle est pénalisante pour les propriétaires éloignés, mais est acceptable pour des résidents. Ce travail peut être confié à un tiers et être source d'emploi. Les agriculteurs résidant sur place sont bien placés pour réaliser ces travaux qui ne demandent pas de gros investissements et peuvent se faire sur une longue période, de façon échelonnée.

Le surcoût de dégagement

La végétation adventice profite des grands espacements et il faut prévoir quelques interventions supplémentaires. Ces surcoûts additionnés aux frais de taille-élagage peuvent représenter des montants de plusieurs milliers de Francs.

La qualité du bois

La qualité du bois final peut être compromise par des accroissements trop rapides. On sait qu'en résineux, l'infradensité diminue quand la vitesse de croissance augmente. Une essence comme l'épicéa commun ne sera donc pas des plus intéressantes pour une telle sylviculture. Le douglas est par contre moins sensible. Les conséquences sont moins uniformes pour les feuillus du fait des différences d'homogénéité du bois selon les essences. Le bois d'été privilégié par des croissances accélérées est également plus fin et plus dense.

De toute façon, pour tous ces bois, la cible commerciale est la qualité ébénisterie-déroulage-tranchage dans laquelle l'attention est davantage portée sur la régularité de croissance que sur la vitesse de croissance.

Les avantages sont d'ordre socio-économique

L'augmentation de la croissance individuelle

Elle permet d'atteindre plus rapidement le diamètre d'exploitabilité et de réduire la durée de la révolution, d'où l'augmentation du taux interne de rentabilité. Obtenir 1 cm de croissance sur le diamètre et donc produire une grume de 45 cm de diamètre (soit pour une bille de pied de 6 m, un

volume de 1 m³) est un objectif accessible en feuillu précieux. Pour des essences comme le merisier, le frêne, la réduction de la révolution est indispensable car les défauts de coloration du bois se multiplient avec l'âge. Passé 60 ans ils sont très fréquents. En résineux, on peut viser 1,5 cm/an et une révolution de 30 ans.

La réduction des coûts d'installation

Elle est liée à la réduction du nombre de plants installés mais elle est souvent compensée par l'acceptation de surcoût pour des plants sélectionnés plus chers, par les surcoûts de dégagement et de taille.

L'utilisation de protections individuelles

Dans le cas des feuillus précieux décimés par les cervidés en l'absence de protections individuelles ou de grillages, les plantations à forte densité entraînent des dépenses rédhibitoires et seules des faibles densités sont tolérables. Les manchons protecteurs permettent par ailleurs de repérer facilement les plants et d'employer des herbicides foliaires totaux tels que le glyphosate.

L'association avec l'agriculture

La faible densité laisse du terrain libre pour l'association avec d'autres spéculations :

- plantations d'arbres ou d'arbustes de bourrage qui pourront produire un revenu intermédiaire (aulnes, épicéas avec feuillus précieux) ou
- agriculture sous la forme de cultures annuelles ou de pâturage (agroforesterie) qui assurent dans un premier temps l'entretien de la plantation. Avec l'élevage, il est impératif de protéger les jeunes plants contre le bétail ou d'attendre que les arbres soient défensables avant d'y introduire des animaux. Les simulations économiques montrent que ces solutions, par les revenus intermédiaires qu'elles procurent, sont tout à fait rentables.

Un nouveau rapport à l'arbre

Enfin, mais ce n'est pas un des moindres intérêts, cette sylviculture se traduit par un rapport à l'arbre tout autre : il ne s'agit plus de sélectionner les plus beaux d'un peuplement et faire abattre les gênants, mais de participer par des tailles à la formation de la bille de pied. L'attention aux arbres est constante pendant une quinzaine d'années après la plantation mais ensuite le propriétaire les regarde pousser au moment où en sylviculture classique, on commence à intervenir.

D'autres paysages

Des plantations agroforestières induiront des paysages ouverts, certainement mieux admis par le public que les plantations fermées impénétrables. L'emploi de mélanges d'essences est également source de diversification du paysage.

III – Des expérimentations en cours

La mise au point des itinéraires techniques liés à cette culture d'arbres intéresse depuis plusieurs années la recherche qui a développé un certain nombre d'expérimentations autour de plusieurs schémas :

- la plantation forestière à faible densité avec ou sans peuplements de bourrage : l'INRA et le CEMAGREF ont installé de 1986 à maintenant une douzaine de dispositifs avec des feuillus précieux et principalement de l'aulne. L'IdF et des CRPF ont testé des associations avec des arbustes comme l'olivier de Bohême, les sureaux. On y mesure les effets sur la facilité de taille

et sur la conformation des arbres du fait du gainage obtenu par le bourrage, mais aussi la compétition interspécifique ;

– les plantations agroforestières associent des cultures intercalaires ou du pâturage à la plantation d'arbres. Les expérimentations actuelles de plantations d'arbres à bois précieux sur prairies suivies par l'INRA et le CEMAGREF représentent plus de 150 ha dans des conditions pédoclimatiques variées (Languedoc-Roussillon, Pays Basque, Boulonnais, Auvergne) sans compter le réseau britannique de l'Agroforestry Forum (65 ha) bâti sur le même modèle. Ces essais permettent d'étudier l'adaptation de plus de 25 espèces différentes, leur croissance, de tester les protections contre le bétail, de bâtir les modèles de croissance et de production, de mettre au point les techniques de taille, d'en éprouver la faisabilité.

IV – Les sujets de recherche prioritaires

Ces expérimentations permettent de dégager quelques sujets de recherche prioritaires :

- garantir le peuplement final,
- assurer la protection contre le bétail ou le gibier,
- produire du bois de qualité avec des arbres forestiers en "croissance libre",
- maîtriser les concurrences de la part de la végétation ou des cultures intercalaires,
- intégrer la gestion de ces cultures dans le contexte économique, juridique et culturel,
- vérifier l'intérêt écologique.

Garantir le peuplement final

Les densités d'installation en culture d'arbres sont de l'ordre de 3 à 6 fois la densité finale, soit de 240 à 480 tiges/ha en feuillu, de 2 à 4 fois, soit de 400 à 800 tiges/ha en résineux. Les plantations en prairies pâturées utilisent des densités encore plus faibles, avec un facteur multiplicatif de 1 à 1,5.

La réduction de la pression de sélection à des niveaux très faibles n'autorise donc aucune perte d'arbres, qu'elle soit liée à une mauvaise origine génétique ou à des aléas climatiques. Sinon, le peuplement final n'occupera pas tout l'espace et le rapport de la plantation ne sera pas maximal.

Les voies de recherche touchent à l'écologie et la génétique ainsi qu'à la sylviculture.

L'écologie

Il s'agit de bien connaître pour un lieu donné les essences (et pourquoi pas les cultivars) qui présentent le meilleur niveau d'adaptation. Il s'agit de progresser à la fois dans la description du milieu et la détermination des facteurs limitants de la croissance des arbres et dans la connaissance des exigences des différentes essences forestières.

Les études du milieu par les typologies de stations forestières, même les travaux basés sur l'approche pédogéomorphologique, sur l'analyse des bilans de chaleur, d'eau et d'éléments nutritifs, ne parviennent pas toujours à préciser suffisamment les facteurs limitants du milieu. Par exemple, l'appréhension de l'eau réellement disponible pour l'arbre est grossière : données insuffisantes pour le calcul des déficits de précipitation, manque de précision dans le calcul de la réserve utile du sol (rôle des apports latéraux, profondeur du sol), enfin, la méconnaissance des possibilités pour l'arbre de mobiliser l'eau disponible.

L'autécologie des essences forestières souffre également de nombreuses carences. Si le niveau de connaissance est convenable pour les arbres sociaux, encore que les études de relation stations/production ne soient pas si nombreuses, il est insuffisant pour les essences naturellement

disséminées et peu sociales. Une analyse bibliographique des quatre grands feuillus précieux (frêne, merisier érables plane et sycomore) a montré que les sources originales étaient peu nombreuses et reposaient sur des observations plus que sur des mesures. La détermination du niveau de fertilité par la hauteur dominante n'apparaît pas satisfaisante pour tous les arbres en situation isolée ou en mélange avec d'autres essences.

La génétique

Il s'agit de déterminer le niveau de variabilité des espèces ou des sous-espèces homogène par rapport aux conditions de milieu et produire des plants correspondants à des niveaux de prix acceptables.

La génétique forestière a fait d'énormes progrès pour la plupart des grandes essences de reboisement utilisées en France. Le classement en régions de provenances a été un premier pas. Les vergers à graines dont le produit est testé (étiquettes bleues) est un second. La création d'hybrides, leur multiplication par clonage et leur test en parcs clonaux est un troisième.

Le niveau de sélection génétique est encore insuffisant pour les feuillus précieux qui sont les plus aptes à la culture d'arbres : les érables ne subissent aucune sélection ; des clones de merisier testés viennent juste d'être homologués. Enfin, il faudrait certainement s'intéresser à des essences considérées aujourd'hui comme non forestières, des fruitiers (cormier, poiriers), des exotiques (paulownias, tulipiers).

L'utilisation de matériel génétique du niveau clonal ne doit pas faire peur dès lors qu'il conserve un minimum de diversité (mélange pauciclonal). Le mélange d'essences permis par la croissance "libre" confèrera une résistance supplémentaire aux agents pathogènes biotiques et abiotiques. Mais la première exigence est l'utilisation de matériel génétique adapté au milieu.

Assurer la protection contre le bétail ou le gibier

Que les plantations soient faites en systèmes forestiers ou agroforestiers, il n'est pas possible de perdre des arbres du fait des dégâts d'animaux. Il se trouve que les essences forestières à croissance rapide sont parmi les plus appétantes pour les cervidés : les chevreuils raffolent des chênes rouges, des merisiers, des frênes. Le bétail bovin ou ovin ne fait pas de détail et abrutit tout jeune arbre. Les ovins et les chevaux écorcent. Le bétail, comme les cerfs, peut causer de graves dommages par leurs frottis.

La multiplication en France du cheptel cervidé demandée par le monde des chasseurs et soutenue par le public contraint le forestier à s'adapter à cet état de fait. Les protections par manchons plastiques ont été mises au point progressivement ces vingt dernières années et se révèlent efficaces dans des hauteurs adaptées aux différents types d'animaux (1,2m pour les chevreuils, 1,8m pour les ovins, 2,5 m pour les bovins).

On a pu montrer cependant (C. DUPRAZ et al. 1994) que le séjour d'un plant dans un manchon n'était pas anodin et entraînait des déficits de photosynthèse, des déséquilibres de biomasse variables selon les essences et la durée du séjour. La mise au point de tube-abris moins traumatisants est une obligation pour le développement des complantations de prairies pâturées, éventuellement avec des résineux actuellement réfractaires aux manchons (sauf les mélèzes).

La recherche de répulsifs efficaces est également une voie prometteuse pour protéger des grands plants des dégâts d'écorçage.

Produire du bois de qualité

Le doute de pouvoir produire du bois d'oeuvre de qualité avec des arbres poussant en croissance libre ou accélérée est un argument majeur utilisé par nombre de forestiers pour s'opposer à de telles pratiques. L'inexistence d'arbres ayant poussé selon les méthodes préconisées actuellement pour la culture d'arbres à bois précieux empêche d'être affirmatif dans la réponse à leur apporter. Il est du devoir de la recherche de pouvoir répondre sans attendre la récolte des arbres qu'on plante en ce moment !

Effectivement la différence de port et de croissance, entre un arbre isolé qui a un tronc conique, est couvert de branches basses et un arbre en peuplement qui a un tronc plus cylindrique, net de branches, se répercute sur la qualité du bois et en particulier sur la densité et les noeuds. Nous avons déjà dit qu'une culture d'arbres ne pouvait pas se concevoir sans tailles de formation et d'élagage qui éliminent ces défauts de branchaison, de rectitude et de conicité (dans la longueur de grume élaguée).

Les principaux problèmes à résoudre sont la conduite de la taille et la recherche de matériel génétique supportant le mieux ces interventions.

En matière de taille, il s'agit de simplifier les protocoles conçus actuellement, espacer les interventions pour diminuer les coûts et éviter les complications (apparition de gourmands et mauvaise cicatrisation des plaies). Les axes de travail sont :

- la connaissance des rythmes physiologiques qui commandent le réveil des bourgeons dormants,
- la mise au point de produits cicatrisants.

Le suivi de l'évolution des défauts et de la rectitude selon divers rythmes de taille effectué dans de nombreuses plantations (IDF, CEMAGREF, INRA) est le premier stade de ce travail. Un deuxième stade est l'élaboration de systèmes-experts pouvant simuler la réponse de l'arbre à des tailles variées.

La connaissance de la croissance des arbres sans compétition intraspécifique est également un impératif pour prévoir précisément le niveau de production de ces arbres (et donc la rentabilité de l'investissement). Les critères habituels de hauteur dominante sont caducs et l'accent doit être porté sur le diamètre même s'il existe généralement une relation spécifique entre hauteur et diamètre pour des arbres isolés.

L'examen des arbres de parc, d'alignement ou de plantations adultes actuelles ayant été conduites de façon intensive devrait permettre d'en déterminer la qualité du bois et de vérifier les niveaux de densité.

Enfin, on souhaiterait que la sélection génétique fournisse l'arbre idéal au tronc droit à croissance soutenue, aux branches fines, au bois homogène et dense quelle que soit la vitesse de croissance !

Maîtriser les concurrences

Les plantations forestières ou agroforestières à faible densité réduisent la compétition intraspécifique mais ne peuvent généralement pas, à moins de désherbage totaux pendant toute la révolution, supprimer la compétition arbre-herbe. Il faut donc gérer cette compétition.

On la supprime généralement les années suivant la plantation par un désherbage localisé autour du plant : toutes les expérimentations ont montré l'avantage du désherbage localisé pour le démarrage des feuillus. Ensuite, on laisse les végétaux adventifs coloniser l'espace intercalaire quand on ne les installe pas (dans les plantations avec bourrage ou avec cultures intercalaires). Plus tard, encore les arbres monopolisent l'espace et dominent la végétation intercalaire.

Le niveau de connaissances théorique et pratique est encore insuffisant pour répondre à des questions du genre :

- Comment s'exerce exactement la compétition racinaire (eau, éléments minéraux, mycorhizes)?
- Quelle est l'évolution dans le temps du rapport arbre/herbe pour les différents facteurs de production, lumière, eau, éléments nutritifs ?
- Peut-on développer des légumineuses et des graminées de demi-ombrage, favorables à une synergie arbre-herbe, à l'image de ce qu'ont fait les Néo-Zélandais avec le Maku dans les plantations de *Pinus radiata* ? (DUPRAZ et al. 1992)

Y répondre permettra de mieux gérer les compétitions, améliorer les itinéraires techniques et modéliser les associations : dans quelque temps, on devrait pouvoir valider les premiers modèles de production d'herbe sous couvert agroforestier (de MONTARD et al. 1992). On devrait aussi pouvoir déterminer les cultures intercalaires les plus intéressantes : par exemple, une céréale d'hiver est extrêmement compétitive pour l'eau car elle dessèche le sol en fin de cycle végétatif.

Vérifier l'intérêt écologique

Les préoccupations environnementales et paysagères sont de plus en plus présentes dans nos sociétés et il convient de vérifier si les principales assertions sur l'intérêt d'arbres isolés ou en faible densité sont exactes scientifiquement :

- les paysages créés par des plantations à faible densité sont-ils différents et plus acceptables ?
- les arbres fixent-ils l'azote en excès dans les sols agricoles ?
- un mélange d'essences est-il plus résistant aux agressions biotiques et abiotiques ?
- la biodiversité est-elle supérieure dans des plantations forestières peu denses ou des plantations agroforestières ?

Les travaux pour répondre à ces quelques questions pourtant pertinentes sont encore rares et fragmentaires.

Intégrer ces cultures dans le contexte juridique, économique et culturel

D'un point de vue économique, des premiers calculs (GUITTON et al. 1993) comparant des plantations à densité classique et à faible densité montrent en résineux que la rentabilité est du même ordre (TIR de 8% avec du douglas en deuxième classe de fertilité) : le gain sur la plantation équilibre le surcoût de plants et de dégagements ; le gain lié à la réduction de la révolution équilibre la perte de production (surbilles avec gros noeuds). L'argument économique ne tient pas.

En feuillu précieux (le merisier), les plantations à densité classique (1111 tiges/ha) ne sont souvent plus possibles économiquement à cause du coût des protections contre le gibier. En admettant qu'elles ne soient pas obligatoires, on retrouve des rentabilités analogues (3,2 %) pour les deux densités. On fait des économies significatives en faisant les tailles en régie (TIR de 4,7 %) ou avec un bourrage commercialement intéressant (avec épicéa commun, TIR de 4,0 %). Enfin, la plantation agroforestière du fait du revenu agricole ininterrompu est la pratique la plus rentable (6 %). Des études britanniques avaient déjà montré qu'en conditions de fertilité moyenne une spéculation agroforestière était plus rentable que les productions agricoles ou forestières pures. De plus elle se révèle plus robuste dans les contextes de prix variables.

Les cultures d'arbres à bois précieux et l'agroforesterie remettent en cause dans plusieurs domaines socio-culturels les données existantes :

- Faut-il classer les complantations de prairies pâturées comme des plantations forestières (elles produisent in fine autant de bois que des plantations forestières) avec un élevage transitoire qui entretient l'espace ou comme des parcelles agricoles qui supportent quelques arbres qui apporteront un revenu supplémentaire ?
- L'agroforesterie conduira-t-elle à de nouveaux rapports propriétaire-locataire, l'un possédant les arbres, l'autre pratiquant les cultures ou l'élevage intercalaire ? Avec un faire-valoir direct et des loyers agricoles en diminution, la valorisation du foncier par les arbres tout en conservant un revenu à court terme et de bonnes relations avec les agriculteurs locaux (ainsi qu'un paysage ouvert) sont des considérations qu'avancent certains des propriétaires qui ont complanté leurs prairies en Auvergne.
- La culture d'arbres par les travaux de taille permettra-t-elle d'offrir de nouveaux travaux pour les agriculteurs et de nouveaux revenus ?
- Dans une période où on recherche de nouvelles utilisations non alimentaires des terres agricoles, quelles sont les perspectives en terme de rentabilité et d'acceptabilité par les agriculteurs de l'agroforesterie ?

Les études et enquêtes pour répondre à ces questions sont délicates vu la nouveauté de cette pratique. La méthodologie est à bâtir.

V – Conclusion

La culture d'arbres à bois précieux est issue de l'évolution de la sylviculture pour abaisser les coûts de production, pour intégrer les progrès en matière de sélection génétique et de connaissance de l'écologie des essences forestières, pour valoriser les progrès techniques quant à la maîtrise de la végétation herbacée, la taille, les tube-abris.

La culture d'arbres vise à concentrer la production de bois sur les tiges du peuplement final en leur donnant des conditions de croissance optimale par des soins à la plantation et des faibles densités. La formation de la bille de pied droite saine et sans noeuds par des tailles régulières est impérative. Ce sont des travaux légers qui ne nécessitent pas de gros investissements ; ils peuvent être faits par le propriétaire lui-même ou être confiés à des personnes sur place, des agriculteurs notamment.

Il s'agit donc d'une nouvelle forme de sylviculture intensive où l'homme fait par son travail ce que fait la nature en plusieurs décennies, parfois de manière insatisfaisante.

Un des principaux avantages de cette méthode est la possibilité d'associer ces arbres à faible densité avec un peuplement de bourrage ou avec de l'agriculture (agroforesterie). On remplace aussi des produits forestiers intermédiaires mal payés par une production agricole mieux valorisée économiquement et socialement. L'agroforesterie offre ainsi des perspectives de diversification de l'agriculture et d'incorporation progressive d'un capital arbre.

Des premières expérimentations sont conduites depuis plusieurs années par différentes équipes françaises (INRA, IDF, CEMAGREF) et étrangères notamment dans le cadre du projet européen AIR "Utilisation alternative des terres agricoles par la plantation d'essences à croissance rapide". Elles testent les deux schémas de plantations de feuillus précieux avec bourrage et de complantations de prairies pâturées.

Les principaux sujets de recherche qui émergent de ces expérimentations concernent :

- l'écologie des essences forestières, principalement des feuillus précieux,
- la sélection de matériel végétal homogène dans ses conditions d'utilisation pour les différents milieux, à croissance rapide et facile à conduire en faible densité,
- l'amélioration des matériels et techniques de protection contre les animaux, notamment les tube-abris,
- la croissance libre et la détermination des indicateurs de fertilité,
- la connaissance de la compétition arbre-herbe,
- les répercussions écologiques de l'introduction d'arbres même à faible densité dans un milieu,
- la modélisation écologique et économique des systèmes agroforestiers,
- l'insertion de l'agroforesterie dans l'exploitation agricole et dans le contexte juridique et socio-culturel des différentes régions.

Si la culture d'arbres à bois précieux s'oppose dans sa conception à la sylviculture traditionnelle, les résultats des recherches qu'elle supporte seront transférables à toute la foresterie : l'enrichissement de taillis, la conduite de mélanges, l'adaptation des peuplements à des fortes densités de gibier sont autant d'exemples qui peuvent incorporer des acquis des recherches de la culture d'arbres. La connaissance des motivations des propriétaires et des agriculteurs par rapport à l'arbre et à la forêt est un progrès pour toute la foresterie.

Enfin, envisager la réintroduction de l'arbre dans le milieu agricole conduit à repenser les politiques d'aménagement du territoire.

La prise en compte dans cette AIP « agriculteurs, agriculture et forêt » des sujets de recherche liés à la culture d'arbres à bois précieux paraît donc tout à fait nécessaire.

Bibliographie

DUPRAZ C., AUCLAIR D., GUITTON J.L., 1992, Vingt ans de recherche agroforestière en Nouvelle Zélande : quels enseignements pour l'Europe ? *Revue Forestière Française* XLIV – 6 – 1992, pp.523-538

DUPRAZ C., GUITTON J.L., RAPEY H., BERGEZ J.E., DE MONTARD F.X., 1994, Broad leaved tree plantations on pastures : the tree shelter issue, in *Proceedings of the 4th international symposium on windbreaks and agroforestry, Viborg (DK)*, pp. 106-111

GUITTON J.L., GINISTY C., 1993, Les plantations à grands espacements, *Informations Techniques du CEMAGREF*, note n°1, 8p.

HUBERT M., *La ligniculture, Forêt Entreprise* n° 88, pp. 23-28

de MONTARD F.X., GUITTON J.L., RAPEY H., 1992, Demain l'association arboriculture-élevage, une nouvelle forme de mise en valeur ? in *Des régions paysannes aux espaces fragiles*, pp.367-378

RIOU-NIVERT P., 1989, Douglas, qualités du bois, élagage et sylviculture, *Revue Forestière Française* XLI – 5 – 1989, pp 423-431

Conduite de l'herbe et des cultures en association avec des arbres forestiers

François-Xavier De Montard

INRA – Unité d'Agronomie
Domaine de Montdésir, 63039 Clermont-Ferrand Cedex
Tel. 73 62 40 00 – Fax 73 62 44 27

I – Introduction

L'association d'arbres forestiers avec une prairie ou des cultures annuelles rejoint la problématique des cultures associées. Le Secteur Environnement Physique et Agronomie a identifié trois thèmes dans ce domaine :

- 1) La conception, ou l'amélioration, et la mise au point des systèmes de cultures associées, la mise en oeuvre de la modélisation pour l'approche raisonnée des potentialités des milieux et la conduite des cultures,
- 2) La répartition des ressources entre les ligneux pérennes et une culture annuelle (ou herbacée pérenne) cultivés sur une même parcelle,
- 3) L'impact des plantations ligneuses à faible densité sur le cycle de l'eau et des éléments et substances à l'échelle du bassin versant.

Motivation de la recherche – Du point de vue technique, mettre en évidence ou créer des agroforesteries performantes comme complément d'activité et meilleure implication des agriculteurs dans la production de bois de qualité et la gestion durable de l'environnement et des paysages.

La gestion durable implique de connaître le fonctionnement de systèmes biophysiques complexes à différents niveaux d'échelle et définir une gestion raisonnée des interactions inter et intra niveaux

Bassin versant, petite région : Gérer les eaux, les sols, les paysages ; entretenir et améliorer le cadre de vie.

Exploitation agricole : Articuler l'agroforêt avec les autres productions dans l'espace et dans le temps.

Parcelle et sole : Définir les équilibres souhaités à différentes échéances ; définir et appliquer les itinéraires techniques adaptés.

Station : Gérer finement pour optimiser le rendement et la qualité des produits.

La connaissance du fonctionnement des peuplements mixtes devrait permettre d'améliorer ou de créer des outils d'aide à la décision technique à différents niveaux

Choix et combinaison d'objectifs de production : association raisonnée de plusieurs productions d'échéances différentes.

Identification des moments-clés du cycle annuel et décisions afférentes.

Gestion à la semaine et journalière ; raisonner, concevoir des outils praticables en temps réel.

Types de peuplements envisagés dans cet exposé

On traitera de peuplements mixtes, et particulièrement de la conduite de la strate basse associée aux arbres. Très largement, il s'agit, en première approximation de boisements gérés dans le cadre de l'exploitation agricole ; la strate basse est soumise à des techniques culturales, le plus souvent en vue d'une production agricole.

Les types d'agroforesterie concernés sont divers : bois existants dans lesquels on introduit une activité agricole, ou plantations à faible densité avec gestion agricole de la strate basse. Dans ce dernier cas, il s'agit notamment de limiter la concurrence des espèces spontanées ou de la remplacer par une strate basse gérée par l'agriculteur avec divers degrés possibles dans l'intensification : simple entretien des espèces spontanées ou installation et gestion d'une plante de couverture, ou bien, cultures d'herbe avec ou sans pâturage ou cultures annuelles intercalaires.

L'herbe et les cultures intercalaires assurent l'entretien de plantations à faible densité pendant la phase juvénile des arbres et, apportent éventuellement un revenu annuel sur moyen ou long terme.

Démarche de recherche

1/ Identifier et hiérarchiser les problèmes de gestion agronomique. Reformuler en questions de recherche au niveau du fonctionnement d'un peuplement mixte.

2/ Etablir un dialogue permanent entre l'étude du fonctionnement des peuplements mixtes et les mises au point techniques adaptées à une gestion durable.

Cette démarche est illustrée par la **figure 1**.

Une synthèse des connaissances sur les cultures associées et sur les matériels végétaux disponibles adaptés au milieu concernés, la modélisation de leur fonctionnement, permettent de concevoir ou d'améliorer des systèmes de cultures associées.

La réflexion pluridisciplinaire, le dialogue avec les agriculteurs et les décideurs, permettent une première définition de systèmes agroforestiers (nouveaux ou améliorés) désirables pour l'exploitant et pour la collectivité, du point de vue de l'organisation du travail, de la qualité des produits, et de la durabilité économique et écologique.

Les mises à l'épreuve dans le réel font émerger des problèmes dans lesquels il faut identifier les trous de connaissance et les besoins de perfectionnement des outils de gestion à différentes échelles de temps. Les progrès de la modélisation permettent d'organiser la recherche dans ces deux domaines et d'aboutir à l'amélioration du système de culture.

II – Les objets de la recherche

1 – La culture associée "arbre + sous-strate" du point de vue de la compétition et des équilibres dynamiques résultants

Compétition pour la lumière

Seulement une partie de la lumière incidente accède directement à la strate inférieure ; une autre partie lui est transmise à travers la couronne de l'arbre.

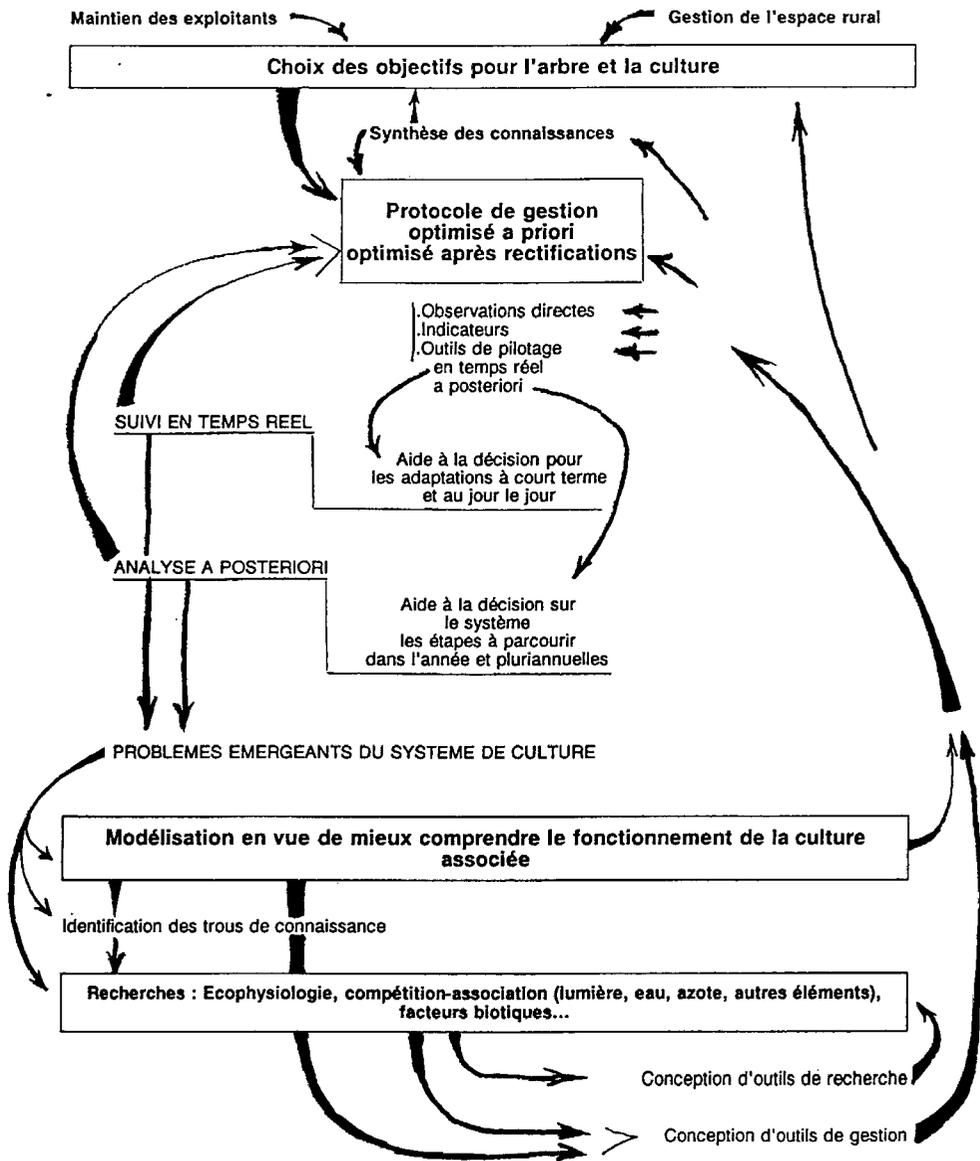


Figure 1 – Conception, construction et amélioration du système de culture agroforestier en dialogue permanent avec l'étude du fonctionnement des cultures associées

Pour estimer la ressource saisonnière en énergie disponible pour la photosynthèse, l'agronome attend du modélisateur forestier le rythme d'extension des feuilles à partir du débourrement jusqu'à la chute, en intégrant éventuellement les effets de la sécheresse estivale et des maladies de feuille sur la densité de la couronne.

Sur le long terme, la prévision du PAR incident sous les couronnes est très importante pour la prévision de la production de la culture intercalaire.

Toutefois, la modélisation de la quantité de PAR incident n'est probablement pas suffisante : le microclimat entre les arbres et sous les arbres est sensiblement modifié du point de vue de la vitesse du vent, de l'humidité de l'air et de l'amplitude des températures. La régulation des échanges gazeux est donc modifiée au niveau des feuilles de la strate inférieure : elle serait plutôt favorable à un allongement de la période d'ouverture des stomates dans la journée et aussi lors de l'entrée dans une période sèche.

La résultante de ces phénomènes est complexe à établir et doit tenir compte des caractéristiques propres des parties aériennes et des racines des espèces en présence. Les travaux "les plus explicatifs" tendent actuellement à se baser sur le programme de morphogénèse des plantes et sur la façon dont le milieu oriente sa réalisation.

Alimentation en eau et en éléments

L'arbre directement exposé en pleine lumière et la culture sous-jacente plus ou moins ombrée ne se trouvent pas dans des conditions similaires de demande climatique pour l'eau ; il faut distinguer aussi les hétérogénéités du microclimat au niveau de la culture provoquées par la présence des couronnes et éventuellement des racines de l'arbre.

La disposition relative des systèmes racinaires entre les différents horizons du sol, et, leurs densité, rapidité de croissance, activité dans le même horizon sont à placer au premier rang des recherches à effectuer pour comprendre la répartition des ressources.

La mesure des flux de sève, le suivi de l'état hydrique des feuilles, les méthodes isotopiques, l'étude de la structure racinaire, l'observation fine des croissances racinaires des partenaires, peuvent, avec le suivi et la modélisation de l'état des réserves hydriques, contribuer à l'approche du partage des ressources.

Le rôle des mycorhizes peut être crucial pour la nutrition phosphatée d'arbres situés en terrain de culture peu pourvus (cas de l'arganeraie marocaine) ; les plantations en sols agricoles dépourvus des mycorhizes ad hoc peuvent poser problème en certaines situations à identifier compte-tenu de la compétition de la strate basse, et bien que nombre de ces sols soient riches.

Le cas de l'azote

Bien que les arbres utilisent largement le recyclage interne pour la pousse de printemps, et ce d'autant mieux avec l'âge, la compétition de l'herbe (ou de la culture) peut avoir des conséquences importantes sur la nutrition de l'année et gêner la constitution du pool d'azote interne pour l'année suivante.

L'étude simultanée de l'état nutritionnel azoté de l'herbe et de l'arbre juvénile, et la définition de critères pour les caractériser, y compris dans les conditions d'ombrage, sont des points cruciaux pour juger du fonctionnement de l'association.

Un autre aspect, en comparaison de prairies ou de cultures en pleine lumière, est l'étude des modifications subies par les différentes sources d'azote dans le contexte de l'association "arbre-herbe" : fourniture du sol, apports organiques, litière, fixation symbiotique.

Elles sont certainement importantes au niveau du fonctionnement de la rhizosphère des graminées en raison du microclimat du sous-bois ; la régulation du pédoclimat sous les arbres serait un facteur favorable à l'activité microbienne. Toutefois, les composés issus de certaines litières peuvent être un facteur limitant pour la vie microbienne et la minéralisation de l'azote. Au pâturage, cet effet peut être contrebalancé par l'apport des déjections des animaux ; mais leur répartition peut être irrégulière, affectée par l'ombrage selon le type de temps ou l'heure.

L'arbre lui-même exerce directement une remontée biologique par prélèvement de nitrates en profondeur et restitution partielle en surface dans la litière de ses feuilles ou de ses aiguilles. Ce phénomène est très variable selon l'essence et la densité des arbres ; en peuplement dense, certains pins redistribueraient seulement 50 kg par ha et par an ; les feuillus de 100 à 150 kg ; les aulnes, qui sont siège d'une importante fixation symbiotique, pourraient libérer 200 à 250 kg par ha et par an.

Dans une visée de dépollution, la fixation symbiotique n'est pas forcément favorable, bien que, sous un couvert clair, l'herbe retiendra une grande partie de cet azote vers la surface du sol, qui reçoit aussi la litière d'herbe et de feuilles d'arbres et les déjections des herbivores ; l'émission massive d'urine (bovins) peut cependant avoir lieu sous des arbres jouant le rôle d'abri habituel et constituer un foyer de pollution des eaux.

L'ombrage dense est néfaste à un grand nombre de légumineuses et à la fixation symbiotique ; en particulier le trèfle blanc tend à disparaître ; pour cette raison, une cultivar de Lotier des marais a été créé en Nouvelle Zélande (Maku) sur le critère de résistance à l'ombrage (et de non toxicité pour les herbivores). En forêt claire de milieux secs et non calcaires, le trèfle souterrain peut bénéficier d'un ombrage léger.

De façon générale, on pourrait anticiper que la prairie sous couvert arboré recevra peu d'engrais azoté ou de fumure organique. Le fonctionnement de la fixation symbiotique dans un tel milieu est un donc un point clé de la maîtrise du renouvellement de la ressource herbagère et de sa qualité qu'il faudra étudier.

Quelque soit la source, déjections, fixation, fumure de cultures annuelles, les conditions dans lesquelles le jeune arbre peut ou non absorber les nitrates dont il a besoin, en présence d'herbe ou de culture sont à explorer, notamment en relation avec l'état hydrique de la rhizosphère et l'alimentation en eau.

Conclusion – La nécessaire modélisation du système complexe "arbre-herbe"

Lumière, eau, azote, phosphore, activité biologique, hétérogénéités créés par les arbres, la conduite de la culture intercalaire ou les déplacements des animaux, sont autant de points de vue sur le système complexe "arbre + culture ou herbe" qu'il faut explorer pour concevoir et alimenter une démarche de modélisation à la mesure des besoins de compréhension du fonctionnement et d'élaboration d'outils de gestion de systèmes agroforestiers.

Cette démarche de modélisation, indispensable pour détecter et hiérarchiser les trous de connaissance et organiser la recherche, débouche aussi sur la conception d'associations performantes et le raisonnement des systèmes de culture les mieux adaptés dans une grande variété de milieux et de conditions culturales ou d'élevage.

D'autres exposés de ce séminaire traitent de la modélisation. Soulignons maintenant quelques aspects importants pour l'amélioration ou la mise au point des systèmes de cultures associées.

2 – Le système de culture agroforestier : gérer la compétition dans l'espace et dans le temps pour intégrer durablement des objectifs de court et de long termes.

En culture associée, l'efficacité et la durabilité du système de culture va dépendre étroitement non seulement des choix raisonnés des espèces en fonction de leur complémentarités et de leur adaptation au pédoclimat,

mais aussi très fortement, de leur disposition relative sur le terrain, pour gérer au mieux les effets de compétition–association et rendre compatibles les opérations culturales indispensables à chacun des partenaires.

Disposition des arbres et de la culture intercalaire

En ce qui concerne l'arrangement de l'association "arbre+culture", les paramètres sont décrits dans la **figure 2**. La densité des arbres résulte d'un compromis entre le risque de mortalité et la nécessité de limiter le coût à l'ha de plantation et de formation des arbres (coûts afférents à des plants de qualité, la préparation du sol, le système de protection, le desherbage au pied, les tailles de formation et les élagages sur plusieurs années).

L'écartement entre lignes doit tenir compte de la largeur des outils agricoles et anticiper leur évolution probable pour éviter la contrainte de l'utilisation d'un matériel trop spécialisé et coûteux. Sur l'espace interligne, un compromis est recherché entre le fait de favoriser les arbres par le maintien d'une large bande desherbée et d'une interculture peu exigeante ou à exigences décalées dans le temps ; ou bien le fait de maximiser la productivité des cultures à l'ha entretenu en assumant le risque d'une croissance plus lente des arbres.

Un élément de jugement sur l'équilibre à rechercher est la modélisation de la croissance des arbres et des effets de compétition croissants sur la culture intercalaire ; et la modélisation de l'évolution de la production des cultures intercalaires qui en résulte.

A partir de telles simulations, le calcul du coefficient de rendement équivalent permet une comparaison physique de l'association et des peuplements purs. C'est la somme des rapports :

$$\frac{\text{Production de l'arbre associé/Production du peuplement forestier}}{\text{Production de la culture associée/production de la culture pure}}$$

Parcelles témoins

Au stade expérimental, il est indispensable de créer des parcelles-témoin sur lesquelles asseoir les comparaisons "cultures associées <---> cultures séparées" ou même "cultures associées <---> friche". En matière de plantations à faible densité avec cultures ou herbe intercalaires, quatre sortes de témoins sont, en principe, requis :

- la friche où se déroule une évolution spontanée vers la lande et vers un boisement dont l'aménagement pourra être raisonné pour divers usages ou productions ;
- la plantation forestière à densité normale, c'est à dire remplaçant rapidement la concurrence de la strate basse par la concurrence intraspécifique entre arbres ;
- la culture annuelle ou la culture d'herbe (y compris prairie permanente) ;
- la plantation à faible densité avec maintien d'un sol nu ou d'une plante de couverture, saisonnière pour réduire au minimum le partage des ressources.

Stratégies de plantation

Dans une exploitation agricole, différentes stratégies de répartition des plantations dans l'espace et dans le temps sont possibles (**figure 3**) ; elles n'entraîneraient pas les mêmes contraintes ni les mêmes résultats.

La Recherche devrait donc rendre opérationnelles les simulations indispensables, surtout en première génération, pour l'aide à la décision concernant les surfaces à planter, le rythme de plantation tolérable avec le bon fonctionnement de l'ensemble du système de production de l'exploitation agricole, le rythme de remplacement des arbres morts ou mal venus, la prévision de l'évolution de la productivité des cultures ou de

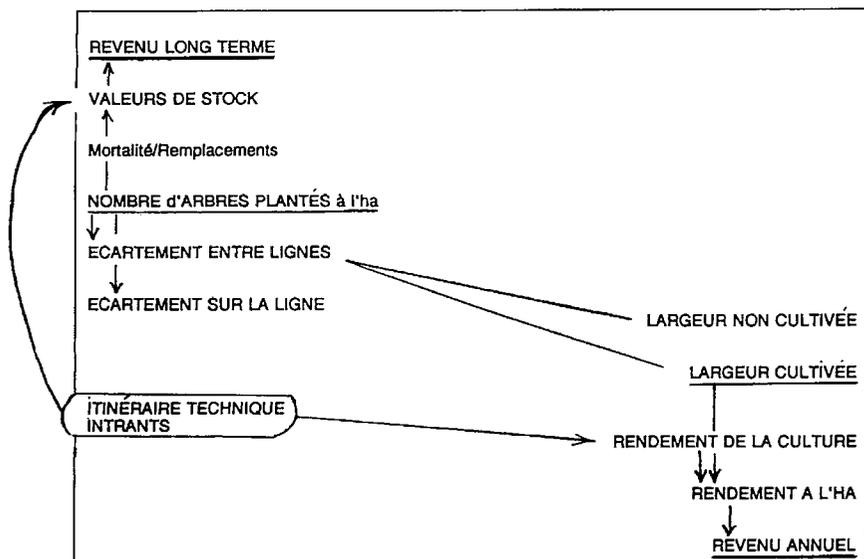


Figure 2 – Principaux paramètres conditionnant l'équilibre entre les productions de court et de long termes

Espace	Réparties sur tous les terroirs au prorata de leur surface	Placées sur les terroirs prioritaires
Temps		
Plantation unique	1	2
Plantations échelonnées dans le temps, occupant simultanément les différents terroirs	3	4
Plantations échelonnées dans le temps, occupant successivement les différents terroirs	5	6

Figure 3 – Différentes stratégies de répartition dans l'espace et le temps, des plantations d'arbres dans une exploitation agricole (source : C. Dupraz)

l'herbe, l'âge de récolte des arbres, le volume produit et la qualité du bois, les impacts sur l'environnement aux différentes phases de la vie du peuplement mixte.

Un schéma probable est la plantation en 3 ou 4 tranches séparées de 5 ans, si des aides à l'investissement (plantation et formation des arbres sur 5, 10 ou 15 ans) sont disponibles.

Plus délicat est le choix de l'ordre à adopter dans la qualité des terroirs affectés aux associations "arbre+culture" : Faut-il planter d'abord les meilleurs terroirs ? Faut-il répartir, lors de chaque tranche, les plantations au pro-rata des surfaces de chaque type de terroir ?

Avec un nombre limité d'arbres à l'ha, le coût modeste d'intervention pour la remise en culture laisse latitude du choix, ultérieurement à la première génération, entre le retour à la culture en plein, la replantation agroforestière ou la plantation en plein. Cette ouverture au libre choix est un avantage certain aux différents niveaux décisionnels : agriculteur, propriétaire, aménageurs...

Interdisciplinarité

La nécessité de l'interdisciplinarité était déjà évidente entre Secteur EPA, Recherches Forestières et CEMAGREF dans les deux exposés précédents et dans la première partie ci-dessus.

La culture d'arbres forestiers en association avec des productions agricoles déborde cependant le cadre des recherches en agronomie et foresterie *sensu lato* (et disciplines amont) : elle appelle une ouverture de la problématique vers SAD, ESR et CEMAGREF, notamment sur les questions suivantes. Quels impacts de la culture des arbres en association avec des cultures annuelles ou de l'herbe auront sur l'évolution de l'activité de l'exploitant agricole (charge de travail, praticabilité du terrain, utilisation de l'espace...), et sur l'évolution des relations Agriculteurs-Société (usages multiples, cadre de vie, paysages...)?

Quels impacts de l'agroforesterie sur le revenu et son évolution ? D'après les premiers résultats de simulation concernant des exploitations du Sud Ouest pour 3 grands groupes de variables : productivité des cultures intercalaires, prix relatifs du bois et des produits agricoles, mesures et subventions compensatoires en terme de revenu, une hypothèse forte serait une grande sensibilité à la première de ces variables :

Plus rapidement la culture intercalaire verrait son aire et sa productivité réduites par la compétition croissante de l'arbre, moins viable serait le système agroforestier. Toutefois, le rendement à l'ha des cultures sera le plus souvent inférieur compte-tenu de la largeur de la bande non cultivée sur la ligne de plantation.

Ces hypothèses renforcent la nécessité de raisonner le choix, voire de créer, les matériels végétaux adaptés à l'association, assurant une croissance rapide des arbres en sacrifiant le moins possible de la productivité intercalaire. Un exemple très parlant est celui de la création de Maku, variété néo-zélandaise du lotier des marais, citée précédemment : Bien adapté à l'ombrage et siège d'une fixation symbiotique très active même avec peu de lumière, ce cultivar a été obtenu par doublement chromosomique de *Lotus uliginosus*, stabilisation de la descendance, sélection sévère pour l'adaptation à l'ombrage et l'inocuité de son fourrage pour les herbivores.

Le succès des associations ne peut résulter d'un hasard chanceux à la suite d'une grande diversité d'essais, mais bien plutôt de programmes de recherche avec objectifs ciblés, réalisant des niveaux d'intégration croissants. On voit l'utilité particulièrement cruciale dans le cas de l'agroforesterie, d'établir les ponts entre différents niveaux d'approche et entre disciplines.

A cet égard, le programme européen ALWAYS "utilisation alternative des terres agricoles par des feuillus précieux à croissance rapide" constitue un pas très important (exposé de D. Auclair et M. Etienne), même s'il apparaît aux participants eux-mêmes que les dimensions "exploitation agricole" et "gestion de l'espace et environnement", notamment, méritent d'importants développements ultérieurs.

Agroforèsterie et environnement

Les conséquences de la culture de l'arbre en association avec des productions agricoles sur l'environnement posent un certain nombre d'interrogations sur la portée des effets, positifs ou négatifs à propos des phénomènes suivants :

- l'érosion, le remodelage du terrain, les transports solides polluants ;
- les concentrations en nitrates des eaux de surface ou de faible profondeur : Importance de la remontée biologique par les arbres ; rôle de l'arbre selon sa position sur le modelé géomorphologique ; en particulier son rôle dans les ripisylves en regard de la dénitrification liée à l'anaérobiose ?
- l'évolution des paysages selon le type de plantation : plantations régulières, plantations semi-régulières, mélanges d'essences, remplacements échelonnés, par exemple tous les 5 ans (aspect pluriennale après 20 ans ?)

Conclusion – *Les besoins de recherche en matière de cultures associées*
"Arbre + Culture annuelle ou prairie"

Deux grands objets de recherche ont été identifiés :

- 1) Le fonctionnement de l'association compte tenu du programme de morphogénèse des espèces associées, des facteurs du milieu et des modifications particulières induites par l'association.
- 2) Les systèmes de culture d'associations, leur insertion dans l'exploitation agricole, leur insertion dans la gestion de l'espace rural.

Fonctionnement d'associations "arbre + strate basse"

Les interrogations sur le fonctionnement conduisent à réunir ou à créer des outils d'investigation originaux pour sa modélisation. et les résultats débouchent sur la conception et la mise au point d'outils de gestion des associations. Cela suppose de mobiliser le savoir-faire scientifique d'équipes existantes (participation directe ou appui scientifique), par exemple, en matière d'activité racinaire et de compétition pour l'eau et pour l'azote, d'activité microbienne et du rôle des symbioses (rhizobium, mycorhizes...) ; et de susciter des synergies, voire des forces nouvelles autour de programmes à terme assez long.

Systèmes de culture d'associations "arbre + strate basse"

On propose deux démarches transdisciplinaires (du domaine biologique jusqu'à SAD et ESR) :

1) Analyse et amélioration des agroforèsteries existantes sous différents points de vue coordonnés.

Un vaste travail a été accompli et se poursuit sur le sylvo-pastoralisme : dans ce cadre, souvent en milieux difficiles, les bois et l'herbe sous-jacente n'en sont pas moins le support réel ou potentiel de productions et d'aménités de qualité.

Un autre cas est celui des noyeraies du Dauphiné et du Périgord où se pratique fréquemment la culture intercalaire ; elles ont fait l'objet de premières études qui mériteraient d'être approfondies.

2) Recherche-action sur les nouvelles formes d'associations

La complexité de l'association interdit d'en explorer toutes les implications dans le seul contexte de fermes expérimentales : La contribution décisionnelle et régulatrice de l'exploitant agricole est un

facteur incontournable qu'il faut pouvoir étudier dans ses méthodes, ses potentialités et ses effets ; on cernerait mieux ainsi la faisabilité et la fiabilité des associations.

Les récents acquis du programme ALWAYS rendent désormais possible une première vague d'expérimentations en situations réelles chez des agriculteurs volontaires, avec le concours des instituts techniques et des organismes consulaires.

Remerciements

Je me suis largement appuyé dans mon exposé sur :

Les échanges qui ont eu lieu à propos de l'élaboration du schéma directeur du département d'agronomie, au cours du colloque "cultures associées tropicales" et à l'occasion des réflexions de F.A. Daudet sur l'arbre en compétition-synergie.

Les réflexions des deux comités "agroforesterie et forêt paysanne" et "sylvo-pastoralisme, agroligniculture et forêt paysanne" successifs.

Les travaux du groupe de recherche européen ALWAYS (utilisation alternative des terres agricoles par des arbres à croissance rapide) animé par D. Auclair.

Les réflexions de C. Dupraz sur les systèmes associant cultures annuelles et arbres forestiers.

Les réflexions issues de la collaboration avec l'équipe forestière du CEMAGREF de Riom.

Quelques repères bibliographiques

F.A. Daudet : L'arbre en compétition-synergie. *Pré-rapport sur l'intérêt et la faisabilité d'une opération de recherche à caractère agrolignicole au PLAF* ; octobre 1993

Compte-rendu du séminaire sur les cultures associées tropicales Guadeloupe : *Ecophysiology of Tropical Intercropping* ; décembre 1993 ; éditeur : H. Sinoquet ; colloque de l'INRA ; à paraître.

Agroforesteries : Numéro spécial de la revue forestière française décembre 1994 ; éditeur : J.L. Guitton ; à paraître

Compte-rendus du programme européen AIR3 : ALWAYS ; éditeur : D. Auclair

R. Nouaim, R. Chaussod, El Aboudi, C. Schnabel, J.P. Peltier 1991 L'arganier : Essai de synthèse sur cet arbre in *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides* 373-388

C. Baldy, C. Dupraz, S. Schilizzi 1994 Vers de nouvelles agroforesteries en climats tempérés et méditerranéens *Cahiers agricultures n°2* 375-386

FX de Montard, JL Guitton, H. Rapey 1992 Demain l'association de l'arboriculture (pour le bois précieux) et de l'élevage : une nouvelle forme de mise en valeur ? 368-378 in *Des régions paysannes aux espaces fragiles* ed CERAMAC Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand

JF Soussana à Clermont-Ferrand, H. Frochot à Nancy, P. Berbigier, A. Cabanettes, D. Loustau et P. Trichet à Bordeaux, C. Baldy et C. Dupraz à Montpellier, L. Assemat à Dijon étudient divers types d'associations en climats tempérés. (liste non exhaustive)

Troisième partie

Outils et modèles

Fonctionnement écophysologique des arbres en association

F. Bussière, H. Sinoquet, P. Cruz
H. Ozier-Lafontaine, R. Tournebize

INRA – Unité Agropédoclimatique de la zone caraïbe
BP 1232, 97185 Pointe-à-Pitre Cedex
Tél. (590) 25 59 74 – Fax (590) 94 16 63

Introduction

L'optimisation ou le simple diagnostic de fonctionnement de systèmes agroforestiers nécessite la mise au point d'outils de simulation basés sur la connaissance aussi pertinente que possible du fonctionnement de ces espèces. Cette connaissance est nécessaire, que l'objectif soit la production de l'espèce ligneuse, celle de la culture sous-jacente ou plus généralement la recherche d'un équilibre répondant à des soucis d'aménagement du paysage et de protection de l'environnement. Les tentatives d'application directe de résultats, pourtant nombreux (Baldy et Stigter, 1993) obtenus en stations expérimentales, sans une analyse fine des phénomènes, se sont souvent soldées par un échec (Ong, 1994). Le fonctionnement des plantes est conditionné par leur nombreuses interactions avec leur milieu naturel (Lemaire, 1994) : les plantes utilisent les ressources du milieu (lumière, eau, minéraux) mais modifient le milieu lui-même. Leurs systèmes aériens et souterrains peuvent être alors considérés comme un ensemble de capteurs pour chacune des ressources. L'architecture de ces systèmes et ses propriétés de transfert sont modifiées en permanence par le développement de la plante conditionné par les facteurs environnementaux. Ces interactions entre les structures et l'utilisation des ressources ont pu être simplifiées ou négligées tant que l'on s'intéressait à des cultures monospécifiques ou à des réactions globales du couvert (voir Geyer et Jarvis, 1991 pour une revue). La seule réaction moyenne à l'échelle du peuplement végétal pouvait alors permettre d'en diagnostiquer le fonctionnement ou même d'en prévoir le développement.

Lorsque deux espèces partagent un même espace aérien et souterrain, cette approche moyenne du fonctionnement intégrant les réactions liées à la concurrence n'est plus possible et ce sont les mécanismes de capture des ressources des plantes individuelles et leurs réactions aux modifications de ces ressources qui vont directement influencer le fonctionnement de chaque espèce. Dans un système comprenant une strate ligneuse et une strate herbacée, une caractéristique additionnelle est la forte hétérogénéité spatiale tridimensionnelle qui sera une clé de la répartition hétérogène des ressources et de différences de développement entre les espèces ou au sein d'une même espèce. L'analyse et la modélisation du partage de chaque ressource pour les composantes d'une association est donc le préalable indispensable à la modélisation de leur fonctionnement (Sinoquet et Cruz, 1994). La modification de leurs capacités de collecte répondant aux variations de disponibilité de ces ressources en est le corollaire biologique.

Nous présenterons d'abord l'état des connaissances sur le partage des ressources dans les couverts agrolignicoles. Après un bref rappel des rôles joués par chacune de ces ressources, nous présenterons les méthodologies existantes et voies actuelles de recherche, puis les

perspectives de recherche dans le domaine de la modélisation de la réponse des plantes aux variations des conditions de leur environnement.

1 – Partage de la lumière

1-1 Présentation de la ressource lumineuse

1.1.1 Son importance

Dans un système agrolignicole, les interactions plante-rayonnement déterminantes sont les suivantes:

Le rayonnement intercepté par chaque composante du système: il détermine la production primaire et la composante d'origine radiative de la demande climatique en eau. Le rayonnement solaire est d'abord disponible pour les arbres. La culture sous-jacente a un accès limité à la lumière, ce qui peut avoir des conséquences fatales sur sa croissance (Caldwell, 1987) si sa photosynthèse est trop réduite. En revanche, un ombrage partiel peut protéger la culture d'une contrainte hydrique (Allen et al., 1976) et/ou améliorer son rendement photosynthétique (Willey, 1979 ; Harris et al., 1987 ; Cruz et al., 1993).

La qualité du rayonnement reçu par la végétation: elle détermine *pro parte* la morphogénèse des plantes, à travers de nombreuses composantes de leur architecture et de leur forme (Varlet-Grancher et Gautier, 1994). Dans le cas d'arbres plantés à faible densité, une réaction photomorphogénétique classique est une ramification excessive tendant vers une occupation horizontale de l'espace préjudiciable à la qualité de la bille. Pour la culture sous-jacente, l'ombrage peut conduire à un déséquilibre dans la répartition des assimilats entre parties aériennes et souterraines qui peut se traduire par un épuisement progressif de la culture (Cruz et al., 1993).

Comme indiqué en introduction, ces deux groupes d'interactions présentent une composante physique et une composante biologique. La première décrit l'effet de la structure végétale sur le microclimat lumineux ; elle est assez bien caractérisée par des mesures physiques ou des modèles de simulation basés sur des lois d'optique géométrique et de transfert radiatif. La seconde traduit la réaction des plantes au facteur lumière via des lois biologiques mal connues et qui ne sont actuellement approchées que par des modèles empiriques. Dans la suite de cette partie, nous ne nous intéressons qu'au premier type d'effets.

1.1.2 Comment l'étudier ?

Les facteurs qui affectent le microclimat lumineux des cultures sont la quantité et la qualité du rayonnement incident, la structure géométrique du couvert végétal et les propriétés optiques des organes végétaux et de la surface du sol. De nombreuses revues bibliographiques ou ouvrages de synthèse ont été publiés récemment (Goel, 1988 ; Myneni et al., 1989 ; Myneni et Ross, 1991 ; Varlet-Grancher et al., 1993). Les deux particularités des systèmes agroforestiers (partage de la ressource entre deux espèces et hétérogénéité spatiale) compliquent l'étude des interactions rayonnement-végétation et demandent des moyens supplémentaires en terme de description de la structure du couvert, et de mesure et modélisation du bilan radiatif.

1-2 Mesures et modèles

1.2.1 Mesure du microclimat lumineux :

Des capteurs de rayonnement placés aux limites supérieure et inférieure des deux composantes du système agroforestier permettent d'obtenir leur bilan radiatif respectif. Ceci est possible uniquement parce que les arbres et la culture sous-jacente occupent des espaces distincts (Tournebize et Sinoquet, 1994). Par ailleurs, McNaughton et al. (1992) ont développé un dispositif permettant de mesurer le bilan radiatif d'un arbre isolé. Les mesures de rayonnement peuvent demander un grand nombre de capteurs pour intégrer ou décrire la variabilité due à la structure géométrique du couvert: ceci nécessite la mise au point de capteurs bon marché (cellules au silicium amorphe ; Chartier et al., 1989 ; intégrateurs électro-chimiques ; Newman, 1985, 1989) ou de systèmes de déplacement des capteurs (Péché, 1986 ; Matthews et al., 1987).

1.2.2 Modèles de transfert radiatif

Les modèles de transfert radiatif pour les couverts végétaux ont été classés en quatre groupes, selon la façon dont est décrite la structure du couvert végétal (Lemeur et Blad, 1974 ; Norman, 1975 ; Goel, 1988): **des modèles géométriques**, où les arbres sont représentés par des formes simples disposées dans l'espace selon le mode de plantation ; **des modèles basés sur les lois de transferts radiatifs en milieu diffusant** où le couvert végétal est décrit par des fonctions statistiques éventuellement variables dans l'espace ; **des modèles hybrides** qui combinent ces deux approches pour décrire les houppiers ; **des modèles basés sur une description explicite de l'architecture des plantes** où sont connues la position, l'orientation, la forme et les propriétés optiques de l'ensemble des éléments constituant le couvert végétal.

Modèles géométriques

Des modèles géométriques appliqués aux arbres ont été utilisés pour calculer l'ombre portée par les houppiers et la lumière transmise à la culture sous-jacente (Harrington, 1984 ; Quesada et al., 1989 ; Reid et Ferguson, 1992). Jackson (1983) a proposé une relation générale pour déterminer le rayonnement disponible sous un couvert d'arbres à partir de n'importe quel modèle d'ombre portée. Quelques modèles géométriques abordent la compétition entre plantes (par exemple, le modèle de Ford et Diggle, 1981). Enfin, le modèle de Norman (Norman et Jarvis, 1975 ; Norman et Welles, 1983) est un modèle hybride développé pour les couverts forestiers qui pourrait certainement être adapté au systèmes agrolignicoles car il est très détaillé.

Modèles basés sur les lois de transferts en milieu diffusant

Ils considèrent le couvert végétal comme un milieu diffusant (Monsi et Saeki, 1953): pour une direction donnée, la pénétration du rayonnement est supposée suivre une atténuation exponentielle (Ross, 1981).

Dans l'application aux systèmes agroforestiers, le modèle de McMurtrie et Wolf (1983) est le plus simple : il suppose que le couvert est fait de deux strates superposées homogènes dans le plan horizontal : une strate supérieure arborée et une strate inférieure herbacée. Cette hypothèse est assez grossière dans le cas d'arbres dont les houppiers ne se rejoignent pas mais

d'autres modèles de ce type peuvent potentiellement s'appliquer à ces couverts. D'une part, on peut raisonnablement envisager de coupler des modèles hybrides d'arbres pour la strate supérieure (par exemple, Norman et Jarvis, 1974) à des modèles de cultures pures couvrantes pour la strate sous-jacente. D'autre part, on peut utiliser les modèles développés pour les cultures associées qui sont capables de tenir compte des variations spatiales de densité de surface foliaire dans le plan horizontal (Marshall et Willey, 1983 ; Acock et Juo, 1988; Sinoquet et Bonhomme, 1992). Dans ces modèles, l'espace occupé par la végétation est divisé en zones supposées homogènes contenant ou non du feuillage d'une ou plusieurs composantes de l'association.

Modèles basés sur une description explicite de la structure

Ces modèles sont théoriquement capables de déterminer sans incertitude et à une échelle très fine – celle de la feuille, voire la portion de feuille – le microclimat lumineux au sein d'un couvert végétal. Les échanges radiatifs sont traités par des méthodes de lancer de rayons (Ross et Marshak, 1985; Dauzat et Hautecoeur, 1991) ou de radiosités. Ces deux types d'approche sont appliquées au couvert végétal représenté par un ensemble de polygones. La répartition du rayonnement y est calculée à partir de lois d'optique géométrique parfaitement connues. Pratiquement, ces modèles sont très consommateurs de temps de calcul et de place mémoire. De plus, ils demandent une description très fine de la structure du couvert qu'il est difficile de mesurer correctement.

1–3 Perspectives de recherche

Les outils et modèles permettant de décrire le microclimat lumineux au sein d'un système agrolignicole peuvent facilement être mis au point à partir des méthodes développées pour d'autres types de couverts. Un travail de fond sur ce thème ne semble pas opportun, et seule une adaptation des outils au cas particulier de l'agroforesterie est nécessaire. Il serait notamment utile de développer des modèles simplifiés faisant appel à un nombre limité de paramètres de structure. Par contre, si l'effet d'une structure donnée sur le microclimat lumineux est assez bien connue, il n'en est pas de même des mécanismes situés à la fois en amont et en aval : la mise en place de la structure du couvert et la réponse des plantes au microclimat lumineux. Pour la première, il n'existe aucun modèle déterministe capable de prévoir la dynamique de mise en place du feuillage des arbres au cours de l'année, ni la dynamique d'occupation de l'espace par le houppier. Pour la seconde, seules les réponses photosynthétiques ont donné lieu à des formalisations capables d'être intégrées dans des modèles de fonctionnement. Les réponses photo-morphogénétiques, bien qu'intensément étudiées, ne sont jamais exprimées en terme d'évolution de la structure du couvert. Un autre domaine assez mal connu est la réponse de la culture sous-jacente aux variations spatio-temporelles du rayonnement transmis par les arbres (Percy, 1990). Dans les deux cas, l'étude de ces mécanismes se heurte au manque cruel de méthodes de description fine de la structure géométrique des plantes.

2 – Partage de l'eau

Le feuillage des plantes doit permettre l'absorption du gaz carbonique atmosphérique indispensable à la production de biomasse et faiblement concentré dans l'air. A cet impératif

d'échange avec le milieu se combine généralement une forte contrainte climatique due à la quantité importante d'énergie reçue par les feuilles et à la sécheresse relative de l'air. Dans ces circonstances, la perte d'eau par vaporisation au niveau des chambres stomatiques foliaires est importante et explique les forts besoins hydriques des plantes. Cette **transpiration** peut être modulée par la plante qui a la possibilité de fermer ses stomates au détriment, bien entendu, de l'assimilation carbonée. Cet appel d'eau va se propager via l'appareil vasculaire jusqu'aux racines. L'**extraction racinaire** assure ainsi l'utilisation de l'eau du sol, réservoir réalimenté de différentes façons : parfois par des apports souterrains (drainage latéral et ascension capillaire), principalement par les pluies ou irrigations qui sont **interceptées et redistribuées** par les parties aériennes des plantes avant de rejoindre le sol. Pour un couvert agrolignicole, à chacune de ces étapes de la circulation de l'eau, des interférences au niveau aérien (transpiration et interception) comme au niveau souterrain (extraction racinaire) seront donc possibles.

2-1 Partage de la transpiration

2.1.1 Présentation

Plus que le partage d'une ressource, il s'agit du partage de la contrainte climatique qui va déterminer la consommation en eau de la plante et éventuellement son stress hydrique. Cette demande dépend, nous l'avons vu, du bilan radiatif des feuilles et du microclimat (température, humidité et vitesse de l'air) (Penmann, 1948). En réponse à cette demande, l'ouverture stomatique peut être régulée par les conditions du milieu et des contrôles physiologiques (revue par Lynn et Carlson, 1990 ; Baldocchi et al., 1991). Le couvert agroforestier va modifier ces différents paramètres : transferts radiatifs (Caldwell, 1987 ; Tournebize et Sinoquet, 1994) ; caractéristiques de la masse d'air (Radke et Hagstrom, 1976 ; Ovalle et Avendano, 1988 ; Tournebize, 1994b). Le résultat en terme de partage de la transpiration sera varié : réduction de la transpiration de la culture dominée (Tournebize, 1994a), augmentation de la transpiration totale de l'ensemble (Eastham et al., 1988 ; Willey, 1990).

2.1.2 Mesures de transpiration

On distingue des méthodes directes appliquées sur un échantillon de la culture et des méthodes indirectes permettant le calcul du flux transpiratoire à partir de paramètres climatiques . Les premières comprennent la lysimétrie (mesure des variations de stock d'eau de l'ensemble sol/végétation), les chambres d'échanges gazeux (Reicosky et Peters, 1977 ; Reicosky et al., 1983 ; Denmead, 1984), les mesures directes de flux de sève dans les tiges ou troncs (Sakuratani, 1981 ; Granier, 1985 ; Valancogne et Nasr, 1989 ; Valancogne et Granier, 1991). Les secondes, moyennant des hypothèses simplificatrices liées à l'homogénéité des couverts calculent la transpiration comme la résultante de la demande climatique et de la régulation stomatique (Jarvis, 1976) ; voir, par exemple, Monteith et Unsworth (1990) pour une revue.

Le développement récent de certaines méthodes du premier type, ont permis leur application à la mesure de transpiration de couverts forestiers (Berbigier et al., 1991) et agroforestiers (Tournebize, 1994a). D'autre part, des capteurs permettant des mesures de fluctuations à haute fréquence de vapeur d'eau, de vitesse du vent et de température en trois dimensions sont susceptible d'aider à la paramétrisation de la transpiration dans ces couverts spatialement développés et hétérogènes. Ces techniques d'investigation restent cependant coûteuses et lourdes à mettre en oeuvre

2.1.3 Modélisation de la transpiration

Les premiers modèles considérant une couche de végétation homogène (Monteith, 1965) ont été étendus à la simulation de couverts monospécifiques découpés en strates (Goudriaan, 1977 ; Norman, 1979 ; Jarvis 1985), clairsemé (Shuttleworth et Wallace, 1985 ; Black et Kelliher, 1989 ; Kelliher et al., 1990 ; Teklehaimanot et al., 1991) ou plurispécifiques (Wallace et al. 1990). Ces dernières adaptations de modèles initialement mis au point sur couverts homogènes ne peuvent estimer de façon satisfaisante le partage de la transpiration entre les composantes de couverts agroforestiers. Pour l'instant, seule une modélisation obligeant à la mesure des variables climatiques au sein du couvert a pu être réalisée (Tournebize, 1994a).

De nouvelles approches prenant en compte le caractère sporadique des échanges turbulents à l'intérieur des couverts (Finnigan et Raupach, 1987) sont proposés mais posent des problèmes d'application dus à la lourdeur des calculs (Meyers et Paw U, 1987) ou à la nécessité de connaître avec précision la distribution des surfaces d'échange au sein du couvert (Raupach, 1989).

2.1.4 Perspectives

Il n'existe pas pour l'instant de modélisation satisfaisante de la transpiration susceptible de permettre une estimation de cette grandeur sans mesures lourdes. Cependant, les travaux engagés dans plusieurs laboratoires de bioclimatologie de l'INRA permet d'envisager à terme des progrès dans ce domaine (turbulence en couverts hétérogènes ou en rang à Bordeaux, turbulence en couverts épars à Grignon).

La variabilité des champs de données climatiques en couverts agroforestiers pose de façon aiguë le problème de modélisation de la régulation stomatique souvent paramétrée à partir d'un échantillonnage de mesures ponctuelles (Turner, 1991). Des progrès doivent être réalisés notamment par l'intégration des réactions physiologiques de la plante, afin de déterminer ce paramètre clé des échanges de vapeur d'eau et de gaz carbonique.

2-2 Interception de la pluie

2.2.1 Présentation

Lors de son impact avec le couvert, la pluie se répartit suivant différents mécanismes qui vont en modifier la distribution (Armstrong et Mitchell, 1988). Une partie de l'eau incidente forme de fines gouttes d'éclaboussures ; une autre stockée dans le couvert, donne lieu à des égouttements et une dernière fraction s'écoule sur la structure des plantes suivant des zones de passage privilégiées. Dans le cas des couverts agrolignicoles, cette répartition de l'eau est particulièrement marquée puisque la strate arborée domine, et la quantité d'eau s'écoulant au sol en suivant le tronc peut être importante (Aussenac, 1970). Il a été montré que ce phénomène pouvait avoir des conséquences inattendues comme l'apparition de ruissellement érosif sous couvert forestier en climat tropical humide (Herwitz, 1982) ou la survie d'espèces arbustives en région semi-aride (Navàr, 1993). Ces phénomènes de concentration d'eau en certains points, parfois cartographiés, (Ford et Deans, 1978) sont susceptibles de modifier de façon significative le partage de cette ressource en couverts associé (Bussière, 1994).

2.2.2 Méthodes de mesure

La mesure de cette répartition de l'eau peut se faire grâce à des collecteurs disposés sous le feuillage ou autour du tronc des arbres (Loustau et al., 1992). Dans le cas de la culture sous-jacente, les possibilités d'application de ces techniques dépendent de la taille du couvert. Afin d'estimer la variabilité de ce phénomène dans ces couverts particulièrement hétérogènes, on utilise des collecteurs de grande surface (Teklehaimanot et Jarvis, 1991) ou de nombreux pluviomètres de petite taille (Loustau et al. 1992). Ces appareils peuvent être fabriqués à de faibles coûts, mais leur enregistrement manuel ou automatique devient rapidement fastidieux.

2.2.3 Modèles

Depuis les modèles empiriques nécessitant un calage local (Horton, 1919) jusqu'au modèle de bilan hydrique des houppiers (Rutter et al. 1971), de nombreux travaux destinés à estimer la quantité d'eau captée par la végétation puis évaporée ont été réalisés sur des couverts forestiers (voir Zinke, 1967 ; Blake, 1975 ; Rutter, 1975 pour des revues). Parfois adaptés à des couverts forestiers hétérogènes (Teklehaimanot et Jarvis, 1991 ; Kelliher et al., 1992), aucun de ces modèles ne permet d'estimer, à partir de paramètres de structure du couvert et de caractéristiques physiques de la pluie, les volumes d'eau pouvant s'écouler sur le tronc ou en différents points privilégiés.

2.2.4 Perspectives

La modélisation dynamique de la répartition de l'eau de pluie en couvert agroforestier nécessite la connaissance de la répartition de l'eau incident suivant les processus de base décrits en introduction. Si les phénomènes d'éclaboussure sur les surfaces végétales ont été étudiés pour des problèmes pathologiques (Fitt et al., 1989) il convient dans un premier temps de paramétrer les mécanismes de rétention et d'écoulement d'eau sur les surfaces végétales (Bussière, 1994). Ces lois d'action élémentaires connues, une description explicite de la structure des plantes, pouvant être dérivée des travaux sur les transferts radiatifs doit être envisagée.

2-3 L'extraction racinaire de l'eau

2.3.1. Présentation

Conséquence de la succion causée par la perte d'eau au niveau du système foliaire, un gradient de potentiel s'établit à l'intérieur de la plante et provoque l'absorption, résultante là encore d'un processus physique et de sa régulation biologique. Elle dépend de la capacité de déplacement de l'eau dans le sol au voisinage des racines (propriétés hydrodynamiques) et de leur capacité d'extraction. Le caractère limitant de cette étape rend l'ensemble du processus fortement contingent de la distribution spatiale des racines (Caldwell, 1986, 1987). Cette colonisation conjointe de l'espace souterrain pose des problèmes évidents de concurrence lorsque deux espèces doivent utiliser un volume de sol commun. Dans le cas particulier des associations entre des espèces ligneuses ayant un enracinement profond et une autre culture aux racines plus superficielle, la concurrence entre les systèmes racinaires a parfois été sous-estimée (Ong, 1994a), ainsi certaines espèces arbustives présentent une aptitude importante à coloniser les horizons superficiels du sol au détriment de l'espèce associée.

2.3.2 Mesures

Les mesures permettant de chiffrer l'extraction racinaire sont très difficile car l'estimation de la biomasse racinaire elle-même nécessitant prélèvements et tri est fastidieuse et très imprécise compte tenu de la forte hétérogénéité du milieu. Il est de plus très difficile d'identifier les zones actives des racines. Des mesures indirectes peuvent être effectuées à partir de mesure de bilans ou de flux d'eau du sol.

2.3.3 Modèles

Des modèles d'extraction racinaire ont été développés pour des couverts monospécifiques et denses (Gardner, 1960 ; Hillel et al., 1975 ; Passioura, 1988). Ils utilisent une longueur moyenne de racine dotée d'une capacité d'absorption uniforme répartie dans différents horizons de sol. Ces modèles ne prenant pas en compte la forte hétérogénéité de l'enracinement surestiment systématiquement la capacité d'absorption de la culture (Tardieu et al., 1992). De nouvelles approches ont récemment été développées à l'INRA pour traiter de l'extraction de l'eau par un système non uniformément réparti dans un sol présentant des hétérogénéité de teneur en eau (Lafolie et al., 1991 ; Bruckler et al., 1991). Cette modélisation bidimensionnelle intégrant explicitement le caractère hétérogène du phénomène, est en cours d'adaptation pour simuler deux systèmes racinaires en compétition (Ozier- lafontaine et al. 1994), et semble être une voie prometteuse pour aborder les systèmes agroforestiers.

2.3.4 Perspectives

Les modèles d'extraction hétérogène de l'eau du sol utilisent des résolutions numériques d'équations et sont par conséquent très lourd à utiliser. Après leur validation, il sera nécessaire d'en dériver des modèles opérationnels plus faciles d'emploi. Des modèles de mise en place de l'architecture souterraine se développent actuellement (Pagès et Ariès, 1988), d'abord développés sur Maïs (Pagès et al., 1989), ils ont été adaptés à des espèces ligneuse (Pagès et al., 1992 ; Le Roux, 1994). Il permettront à terme de visualiser la croissance de systèmes racinaires en compétition.

3 – Partage des éléments minéraux

3-1 Présentation

C'est pour la ressource minérale que les couverts agroforestiers étaient susceptibles de présenter le plus d'avantages, ils ont par conséquent été intensément étudiés en ce sens.

Principes d'utilisation des minéraux

La disponibilité des ressources minérales pour un peuplement végétal est voisine de celles de la ressource hydrique (Connor, 1983). Cependant les éléments nutritifs peuvent être stockés par la plante, ou immobilisés dans le sol, et cette ressource limitée peut être épuisée même en l'absence de compétition. Le prélèvement d'un élément par une culture est fonction de l'offre et de la demande. Cette demande est déterminée par les besoins de croissance (taux de croissance régulé par le climat). En particulier, le rayonnement intercepté joue un rôle important dans le pilotage des prélèvement d'azote en monoculture (Greenwood et al., 1990) comme en couvert

bispécifique (Cruz et Lemaire, 1986) où l'espèce dominante utilise mieux l'azote du sol. La compétition entre deux systèmes racinaires doit être la plus intense pour cet élément très mobile (Gillespie, 1989). Par contre, le phosphore est très peu mobile et son absorption est totalement dépendante de la proximité des racines, tandis que le potassium joue un rôle intermédiaire.

Compétition pour les minéraux et conduite des cultures

Dans les systèmes agroforestiers et sylvopastoraux, beaucoup de travaux montrent une réduction de croissance de l'une ou l'autre des composantes, à cause de la compétition pour les éléments nutritifs. La compétition peut favoriser la prairie (Bernhard-Reversat, 1986), les arbres (Ong et al., 1991) ou alternativement les deux (Stuart-Hill et al., 1989) suivant le rythme de taille des arbres. D'autres travaux ont montré les effets dépressifs de la présence des arbres sur la strate herbacée (Robinson, 1991 ; Snaydon et al., 1989) ou l'inverse (Van Auken et Bush, 1987). L'apparente contradiction des résultats montre combien le sens de variation et l'importance quantitative des effets compétitifs dépend du type de peuplement ou du système de culture. Ainsi, on peut chercher à favoriser l'arbre (Chen, 1993) ou l'herbe (Atta-Krah, 1993). Certains dispositifs expérimentaux ont mis en évidence des inversions périodiques de dominance (Cameron et al., 1989). Avec certains modes de conduite de la culture, les espèces de cycle court peuvent échapper à la compétition après la taille des arbres (Haggar et Beer, 1993). Ceci aboutit à un découplage entre la compétition pour les éléments nutritifs et la compétition pour la lumière, la culture mixte produit alors plus que l'ensemble des deux cultures pures (Cruz, 1989; Fukai, 1993; Marín et al., 1994).

Avantages et inconvénients nutritionnels des systèmes agroforestiers

Dans les systèmes agroforestiers et sylvopastoraux, les effets positifs de la combinaison entre un arbre et d'autre culture ont été appelé "effets de stimulation" (Connors, 1983). Les arbres utilisent, comme pour l'eau, une réserve minérale plus profonde, qui est recyclée au bénéfice de l'autre culture avec la chute des feuilles (du Preez et al., 1983 ; Escudero et al., 1985 ; Singh et al., 1989 ; Sharma et al., 1990). D'autre part, ces feuilles se décomposent plus rapidement à l'ombre (Beer, 1988 ; Schroth et al., 1992). De plus les arbres représentent un abri pour les animaux qui augmentent la fertilisation (Belsky et al., 1989 ; Weltzin et Coghénour, 1990 ; Belsky, 1992). L'ombrage et le bilan hydrique plus favorable de la culture protégée améliore son taux de minéralisation (Eriksen et Whitney, 1981 ; Puerto et al., 1984 ; Ovalle et Avendaño, 1988 ; Wilson, 1988 ; Jackson et Caldwell, 1992 ; Wilson et Ludlow, 1990 ; Cruz et al., 1993 ; Wild et al., 1993). Les effets bénéfiques de ces systèmes ont été reconnus en régions tropicales (Shelton, 1993) ou tempérées (Thomas, 1988).

Cependant, des effets négatifs de l'ombrage pour la nutrition minérale, ont été observés comme, par exemple la réduction de la fixation de l'azote atmosphérique associée à certaines cultures de graminées (Smith et al., 1984) ou la réduction de la fixation symbiotique des légumineuses (Marín et al., 1994).

3-2 Mesures

La disponibilité des éléments minéraux peut être approchée par dosage dans le sol des formes utilisables par la plante, mais la dynamique des cycles biogéochimiques de ces éléments fait que le degré d'incertitude de ces dosages est souvent important. Une autre approche est le

dosage des teneurs dans les tissus végétaux qui exprime, pour une quantité donnée de biomasse produite, l'offre du sol en nutriments (Lemaire et Salette, 1984).

3-3 Modèles

Plusieurs modèles ont été développés pour étudier la dynamique d'absorption des éléments nutritifs (Gillespie 1989). Certains prennent en compte seulement l'offre du sol (Barber, 1984) les flux d'azote étant parfois assimilés à des flux d'eau (Lafolie, 1991).

Il semble beaucoup plus réaliste, en particulier en couvert plurispécifique, de tenir compte de la demande de la plante, reflet de la compétition pour la lumière entre les espèces. Des modèles prennent en compte la régulation biologique par la plante (Jones et Kiniry, 1986 ; Godwin et al., 1984 ; Van Keulen et Segilman, 1987 ; Sinclair et Amir, 1992) revus par Muchow et Keating (1992). Cependant, ces modèles sont rarement validés. Le modèle de Barber (1984) a été utilisé par Gillespie (1989) dans le but d'illustrer le potentiel de compétition dans une plantation agroforestière. Les simulations montrent l'effet du taux de diffusion des nutriments et des interactions avec le sol, du diamètre des racines, des teneurs en eau et de la densité de racines sur les gradients de concentration qui gouvernent les prélèvements des éléments nutritifs.

Mc Murtrie et Wolf (1983) ont développé un modèle intégré de compétition entre arbres et graminées prairiales dans laquelle un sous-modèle de compétition pour les nutriments du sol est considéré. Ce sous-modèle empirique n'a pas été validé.

Un autre modèle empirique a été développé par Scanlan (1992) : il analyse les effets de la présence de l'arbre sur la strate herbacée et a été validé sur des communautés végétales semblables à celles qui avaient permis d'établir les relations originales.

3-4 Perspectives

La modélisation de l'utilisation des minéraux et principalement de l'azote en système agroforestier doit s'appuyer sur la formulation la plus mécaniste possible de la demande de la plante et de l'offre du sol. La demande de la plante est fortement dépendante des transferts radiatifs tandis que l'offre du sol est très liée aux mouvements de la solution du sol. Une modélisation intégrée du phénomène devra donc s'appuyer sur les travaux en cours dans ces deux domaines.

Conclusion

Pour l'ensemble du partage des ressources qui vient d'être évoqué, un certain nombre de besoins communs apparaissent.

Il est d'abord nécessaire d'appréhender l'hétérogénéité spatiale du système tant sur le plan expérimental que pour la modélisation. Cette modélisation réalisée pour le partage de la lumière, reste au centre des problématiques concernant le partage des autres ressources.

Pour tous les échanges aériens, il apparaît une nécessité de mesure fine de la structure géométrique du couvert qui intervient en tant que résultante des réponses morphogénétiques des plantes aux facteurs environnementaux, et comme agent modificateur du microclimat ayant une action sur le partage des ressources. Les méthodes de description de la structure du couvert sont généralement lourdes car peu automatisables. Des méthodes nouvelles ont cependant été développées ces dernières années, à l'INRA: digitalisation tri-dimensionnelle du feuillage (Sinoquet et al., 1991 ; Moulia et Sinoquet, 1993) ; télémétrie laser (Sinoquet et al., 1993) ; imagerie en stéréovision (Ivanov et al., 1994 ; Andrieu et Ivanov, 1993). Ces méthodes sophistiquées ont été définies et mises au point pour des cultures annuelles, le plus souvent du maïs. Dans le cas des arbres, des méthodes telles que l'analyse architecturale (Hallé et al., 1978) permettent d'obtenir la structure topologique de la plante, c'est-à-dire l'état des liaisons entre les organes, notamment les unités en croissance. Le même besoin existe pour la description de l'architecture racinaire, difficilement mesurable, qui semble être la seule voie de modélisation de l'extraction de l'eau du sol et en grande partie de la nutrition azotée de la plante. Dans une perspective d'utilisation pour des couverts agroforestiers, un gros effort doit désormais être fait pour adapter l'ensemble de ces méthodes au cas des arbres qui se caractérisent par des grands volumes et un nombre élevé d'éléments de végétation.

De plus, pour passer de la simple simulation du partage des ressources à la modélisation du fonctionnement du système, il faut prendre en compte les réactions morphologiques des plantes aux modifications du milieu afin de pouvoir simuler en continu les échanges et leur évolution. Ces travaux débutent pour les plantes annuelles et devront être étendus aux plantes pérennes si l'on veut se doter des outils d'évaluation de systèmes agroforestiers.

Bibliographie

- Acock B., Juo A., 1988. Modeling the alley cropping system. *Agron. Abstr.*, ASA, Madison, WI, 51 pp.
- Allen L.H., Sinclair T.R., Lemon E.R., 1976. Radiation and microclimate relationships in multiple cropping systems. In: R.A. Papendick, P.A. Sanchez and E.B. Triplett (Eds), *Multiple Cropping*. ASA Special publication 27, Madison, WI, 171-200.
- Andrieu B., Ivanov N., 1993. Use of radiance measurements to assess the position of phytoelements in a vegetation canopy. *Agric. For. Meteorol.*, 66, 139-157.
- Armstrong, C.L. and Mitchell, J.K., 1988. Plant canopy characteristics and processes which affect transformation of rainfall properties. *Trans. ASAE*, 31(5), 1400-1409.
- Atta-Krah A.N., 1993. Trees and shrubs as a secondary component of pasture. *Proc. XVII Int. Grassl. Congress*, 2045-2052.
- Aussenac, G., 1970. Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Ann. Sci. Forest.*, 27(4): 383-399.
- Baldocchi D.D., Shelton H.M., Gutteridge R.C., 1990. Shade tolerance of some tree legumes. In H.M. Shelton et W.W. Stür. Forages for plantation crops : Proc. of a workshop, 27-29 June 1990, Bali, Indonesia, ACIAR Proceedings Series. 32, 75-76.
- Baldy, C. and Stigter, C.J., 1993. *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*. Ed. INRA, Paris, France, 246 pp.
- Barber S.A., 1984. *Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach*. Wiley-Interscience Publication, New York, 398 pages.
- Beer J., 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems*, 6, 103-114.
- Belsky A.J., 1992. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineous forage in tropical savannas. *Tropical Grasslands*, 26, 12-20.

- Belsky A.J., Amundson R.G., Duxbury J.M., Riha S.J., Ali A.R., Mwonga S.M., 1989. The effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology*, 26, 1005-1024.
- Berbigier P., Diawara A., Loustau D., 1991. Etude microclimatique de l'effet de la sécheresse sur l'évaporation d'une plantation de pins maritimes et du sous-bois. *Ann. Sci. For.*, 22, 157-177.
- Bernhard-Reversat F., 1986. Le recyclage des éléments minéraux par la strate herbacée dans un peuplement naturel à *Acacia* et dans une plantation d'*Eucalyptus* au Sénégal. *Acta Oecologica*, 7:353-364.
- Black T.A., Kelliher F.M., 1989. Processes controlling understorey evapotranspiration. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B 324, 207-231
- Blake G.J., 1975. The interception process. In A Chapman, F.X. Dunin (Eds), *Proceedings of the National Symposium on Hydrology Canberra, Australia*, Austral. Acad. Sci., 59-81
- Bruckler L., Lafolie F., Tardieu F., 1991. Modeling root water potential and soil-root water transport: II Field comparisons. *Soil Sci. Am. J.* 55, 1213-1220.
- Bussièrre F., 1994 Rainfall interception by plant canopies, consequences for water partitioning in intercropping systems. In: H. Sinoquet, P. Cruz (Eds), *Ecophysiology of Tropical Intercropping*, INRA Editions, Versailles, sous presse.
- Caldwell M.M., 1986. Competing root systems : Morphology of root absorption. In T. Givnish (Ed). *On the Economy of Plant Form and Function*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 251-273
- Caldwell M.M., 1987. Plant architecture and resource competition. In: E. D. Schulze and H. Zwölfer (Eds), *Ecological studies* 61, Springer-Verlag, Berlin, 164-179.
- Cameron D.M., Rance S.J., Jones R.M., Charles-Edwards D.A, Barnes A., 1989. Projet STAG (Somme Trees And Grasses): An experimental study in agroforestry. *Australian Journal of Agriculture Research*, 40:699-714.
- Chartier M., Bonchretien P., Allirand J.M., Gosse G., 1989. Utilisation des cellules au silicium amorphe pour la mesure du rayonnement photosynthétiquement actif (400-700 nm). *Agronomie* 9,281-284.
- Chen C. P., 1993. Pastures as the secondary component in tree-pastures systems. *Proc. XVII Int. Grassl. Congress*, 2037-2043.
- Connor D.J., 1983. Plant stress factors and their influence on production of agroforestry plant associations. In: *Plant Research in Agroforestry*, P.A. Huxley (Ed). Publ. Int. Council for Res. into Agroforestry, Nairobi, Kenya, 401-426.
- Cruz P., 1989. Associations graminées-légumineuses en climat tropical. Remarques sur les méthodologies d'étude. In: A Xandé, G. Alexandre (Eds), *Pâturages et alimentation des ruminants en zone tropicale humide*. INRA, Paris, 299-309.
- Cruz P., Lemaire G., 1986. Analyse des relations de compétition dans une association de luzerne (*Medicago sativa* L.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) II Effets sur la nutrition azotée des deux espèces. *Agronomie* 6(8), 727-734.
- Cruz P., Munier-Jolain N.M., Tournebize R., Sinoquet H., 1993. Growth and mineral nutrition in a *Dichanthium aristatum* sward shaded by trees. *XVIIth International Congress of Grasslands*, in press.
- Dauzat J., Hautecoeur O., 1991. Simulation des transferts radiatifs sur maquettes informatiques de couverts végétaux. *Proc. Vth Coll. Mes. Phys. Sign. Télédétection*, Courchevel, 415-418.
- Denmead O.T., 1984. Plant physiological methods for studying evapotranspiration: problems of telling the forest from the trees. *Agric. Wat. Manag.*, 8, 167-189.
- du Preez D.R., Gunton C., Bate G.C., 1983. The distribution of macronutrients in a broad leaf woody savanna. *South African Journal of Botany*, 2, 236-242.
- Eastham J., Rose C.W., Cameron D.M., Rance S.J., Talsma T., 1988. The effect of tree spacing on evaporation from an agroforestry experiment. *Agric. For. Meteorol.*, 42, 355-368.
- Eriksen F.I., Whitney A.S., 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilisation on six forage grasses. *Agronomy Journal*, 73, 427-433.
- Escudero A., García B., Gómez J.M., Luis E., 1985. The nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* and *Quercus pyrenaica* ecosystems ("dehesas") of Spain. *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum*, 6, 73-86.
- Finnigan J.J., Raupach M.R., 1987. Transfer processes in plant canopies in relation to stomatal characteristics. In: E. Zeiger, G. Farquhar and I. Cowan (Eds). *Stomatal function*. Stanford University Press, Stanford, Calif., USA, pp 385-429.
- Ford, E.D. and Deans, J.D., 1978. The effect of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in young Sitka Spruce plantation. *J. Appl. Ecol.*, 15, 905-917.

- Ford E.D., Diggle P.J., 1981. Competition for light in a plant monoculture modelled as a spatial stochastic process. *Ann. Bot.*, 48, 481–500.
- Fukai S., Trenbath B.R., 1993. Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Research*, 34:247–271.
- Gardner W.R., 1960. Dynamic aspect of water availability to plants. *Soil Sci.*, 89:63–73.
- Geyer B., Jarvis P., 1991. A review of models of soil–vegetation–atmosphere–transfer–schemes (SVATS): A report of the TIGER III Committee.
- Gillespie A. R., 1989. Modelling nutrient flux and interspecies root competition in agroforestry interplanting. *Agroforestry Systems*, 8:257–265.
- Godwin D.C., Vleck P.L.G., 1984. Simulation of nitrogen dynamics in wheat cropping systems. In: W. Day, R.K. Atkin (Eds), *Wheat growth and modelling*. Plenum Press; New York, 311–332.
- Goel N.S., 1988. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sens. Rev.*, 4, 1–212.
- Goudriaan J., 1979. Modelling the complete crop canopy. In B. Barfield and J. Gerber (Eds). *Biometeorology in Integrated Pest Management*. Academic Press, New–York. 65–100.
- Granier A., 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For.*, 42, 81–88
- Greenwood D.J., Lemaire G., Gosse G., Cruz P., Draycott A., Neeteson J.J., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany*, 66, 425–436.
- Haggar J.P., Beer J.W., 1993. Effect on maize growth of the interaction between increased nitrogen availability and competition with trees in alley cropping. *Agroforestry Systems*, 21:239–24
- Hallé F., Oldeman R.A.A., Tomlinson P.B., 1978. *Tropical trees and forests: an architectural analysis*. Springer–Verlag, Berlin, 441 p.
- Harrington J.B., 1984. Solar radiation in a clear–cut strip – a computer algorithm. *Agric. For. Meteorol.*, 33, 23–40.
- Harris D., Natarajan M., Willey R.W., 1987. Physiological basis for yield advantage in a sorghum / groundnut intercrop exposed to drought. I. Dry matter production, yield, and light interception. *Field Crops Res.*, 17, 259–272.
- Herwitz S.R., 1982. The redistribution of rainfall by tropical rainforest canopy tree species. In *Proceedings of the First National Symposium on Forest Hydrology, 1982, Melbourne, 11–13 May.*, Inst. Aust. Eng. Publ., 86(2), 26–29.
- Hillel D., van Beek C.G., Talpaz H., 1975. A microscopic–scale model of soil water uptake and salt movements to plant roots. *Soil Sci.* 120, 385–399.
- Horton, R.E., 1919. Rainfall interception. *Mon. Weather Rev.*, 47(9): 603–623.
- Ivanov N., Boissard P., Chapron M, Valéry P., 1994. Estimation of the height and angles of orientation of the upper leaves in the maize canopy using stereovision. *Agronomie*, 14, 183–194.
- Jackson J.E., 1983. Light climate and crop–tree mixtures. In: P.A. Huxley (Ed.), *Plant Research and Agroforestry*. ICRAF, Nairobi, Kenya; 365–377.
- Jackson R.B., Caldwell M.M., 1992. Shading and the capture of localized soil nutrients: nutrient contents, carbohydrates, and root uptake kinetics of a perennial tussock grass. *Oecologia*, 91:457–462.
- Jarvis P.G., 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 273, 593–610.
- Jarvis P.G., Miranda H.S., Muetzelfeldt R.J., 1985. Modelling canopy exchange of water vapour and carbon dioxide in coniferous forest plantations. In : B.A. Hutchinson and B.B. Hicks (Eds). *The Forest–Atmosphere interaction*. Reidel, Dordrecht, 521–542.
- Jones C.A., Kiniry J.R., 1986. CERES–Maize. A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press. College station, 194 pages.
- Kelliher F.M., Whitehead D., McAneney K.J., Judd J.D., 1990. Partitioning evapotranspiration into tree and understory components in two young *Pinus radiata* D. Don stands. *Agric. For. Meteorol.* 50, 211–227.
- Kelliher, F.M., Whitehead, D. and Pollock, D.S., 1992. Rainfall interception by trees and slash in a young *Pinus radiata* D. Don stand. *J. Hydrol.*, 131, 187–204.
- Lafolie F., 1991. Modelling water flow, nitrogen transport and root uptake including physical non–equilibrium and optimization of the root water potential. *Fertiliser Research*, 27, 215–231.

- Lafolie F., Bruckler L., Tardieu F., 1991. Modeling root water potential and soil-root water transport: I. Model presentation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 1203–1212.
- Lemaire G., 1994. Ecophysiological approaches to intercropping. In: H. Sinoquet, P. Cruz (Eds), *Ecophysiology of Tropical Intercropping*, INRA Editions, Versailles, sous presse.
- Lemaire G., Salette J., 1984. relation entre la dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote par un peuplement de graminées fourragères. I.– Etude de l'effet du milieu. *Agronomie*, 4:423–430.
- Lemur R., Blad B.L., 1974. A critical review of light models for estimating the shortwave radiation regime of plant canopies. *Agric. Meteorol.*, 14, 255–286.
- Loustau, D., Berbigier, P., Granier, A. and El Hadj Moussa, F., 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. *J. Hydrol.*, 138, 449–467.
- Lynn B.H., Carlson T.N., 1990. A Stomatal resistance model illustrating plant v.s. external control of transpiration. *Agric. For. Meteorol.*, 52, 5–43.
- Marín D., Cruz P., Sinoquet H., 1994. Competition for light and nitrogen in a canavalia–sorghum intercrop. In: H. Sinoquet, P. Cruz (Eds), *Ecophysiology of Tropical Intercropping*. INRA, Paris, in press.
- Marshall B., Willey R.W., 1983. Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet / groundnut intercrop. *Field Crops Res.*, 7, 141–160.
- Matthews R.B., Saffell R.A., Campbell G.S., 1987. An instrument to measure light distribution in row crops. *Agric. For. Meteorol.*, 39, 177–184.
- McMurtrie R., Wolf L., 1983. A model of competition between trees and grass for radiation, water and nutrients. *Ann. Bot.*, 52, 449–458.
- McNaughton K.G., Green S.R., Black T.A., Tynan B.R., Edwards W.R.N., 1992. Direct measurement of net radiation and PAR absorbed by a single tree. *Agric. For. Meteorol.*, 62, 87–107.
- Meyers T.P., Paw U K.T., 1987. Modelling the plant canopy micrometeorology with higher-order closure principles. *Agric. For. Meteorol.* 41, 143–163
- Monsi M., Saeki T., 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.*, 14, 22–52.
- Monteith J.L., 1965. Evaporation and environment. In: G.E. Fogg (Ed), *The state and movement of water in living organisms*. Symp. Soc. Exp. Biol., 19, Cambridge University Press, London, 205–234.
- Monteith J.L., Unsworth M.H., 1990. *Principles of environmental physics– 2nd ed.* Edward Arnold, London, 291pp.
- Mouliat B., Sinoquet H., 1993. Three-dimensional digitizing systems for plant canopy geometrical structure: a review. In: C. Varlet-Grancher, R. Bonhomme, H. Sinoquet (Eds), *Crop structure and light microclimate: characterization and applications*. INRA Editions, Versailles, 183–193.
- Muchow R.C., Keating B.A., 1992. Modelling N uptake and plant N function. In: J.N. Ladd, J.F. Angus, B.A. Keating (Eds), *Modelling of carbon and nitrogen cycling and water balance in dryland crop/pasture systems*. CSIRO IPPP Report, 33–35.
- Myneni R.B., Ross J., 1991. *Photon-vegetation interactions: applications in optical remote sensing and plant ecology*. Springer-Verlag, Berlin, 565 p.
- Myneni R.B., Ross J., Asrar G., 1989. A review of the theory of photon transport in leaf canopies. *Agric. For. Meteorol.*, 45, 1–153.
- Navar J., 1993. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. *J. Hydrol.*, 145 175–190.
- Newman S.M., 1985. Low-cost sensor integrators for measuring the transmissivity of complex canopies to photosynthetically active radiation. *Agric. For. Meteorol.*, 35, 243–254.
- Newman S.M., 1989. Inexpensive instrumentation for monitoring PAR in agroforestry. In: W.E. Reifsnyder, T.O. Darnhofer (Eds), *Meteorology and Agroforestry*. ICRAF, Nairobi, Kenya; 297–304.
- Norman J.M., 1975. Radiative transfer in vegetation. In: D.A. de Vries, N.H. Afgan (Eds.), *Heat and mass transfer in the biosphere*. Transfer processes in plant environment. Scripta Book Comp., Washington; 187–205.
- Norman J.M., 1979. Modelling the complete crop canopy. In : B. Barfield and J. Gerber (Eds). *Modification of the Aerial Environment of crops*. ASAE Monograph, St Joseph, Michigan, 249–277
- Norman J.M., Jarvis P.G., 1975. Photosynthesis in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (bong.) carr.). V. Radiation penetration theory and a test case. *J. Appl. Ecol.*, 12, 839–878.
- Norman J.M., Welles J.M., 1983. Radiative transfer in an array of canopies. *Agron. J.*, 75, 481–488.

- Ong, C.K., 1994a The "dark side" of intercropping : manipulation of soil resources. In: H. Sinoquet, P. Cruz (Eds), *Ecophysiology of Tropical Intercropping*, INRA Editions, Versailles, sous presse.
- Ong, C.K., 1994b. Alley cropping –ecological pie in the sky? *Agroforestry today*, 6(3), 8–10
- Ong C.K., Corlett J.É., Singh R.P., Black C.R., 1991. Above and below ground interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45:45–57.
- Ovalle C., Avendaño J., 1988. Interactions de la strate ligneuse avec la strate herbacée dans les formations d'Acacia caven (Mol.) Hook. et Arn. au Chili. II. Influence de l'arbre sur quelques éléments du milieu: microclimat et sol. *Acta Oecologica; Oecologia Plantarum*, 9:113–134.
- Ozier-Lafontaine H., Bruckler L., Lafolie F., Cabidoche Y.M., 1994. Modelling root competition for water in mixed crops: a basic approach. In: H. Sinoquet, P. Cruz (Eds), *Ecophysiology of Tropical Intercropping*, INRA Editions, Versailles, sous presse.
- Pagès L., Ariès F., 1988. SARAH : modèle de simulation de la croissance, du développement, et de l'architecture des systèmes racinaires. *Agronomie*, 8, 889–896.
- Pagès L., Jordan M.O., Picard D., 1989. Simulation of the maize root system architecture. *Plant Soil*, 119, 147–154.
- Pagès L., Chadoeuf J., Kervella J., 1992. Modélisation stochastique de la croissance et du développement de jeunes pêcheurs (*Prunus persica* Batch). I. Estimation et validation du modèle. *Agronomie* 12, 447–458.
- Passioura J.B., 1988. Water transport in and to roots. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 39: 245–265.
- Pearcy R.W., 1990. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 41, 421–453.
- Péché G., 1986. Mobile sampling of solar radiation under conifers. *Agric. For. Meteorol.*, 37, 15–28.
- Penmann H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proceedings of the Royal Society of London Serie A*. 193, 120–146.
- Puerto A., Rico M., Gómez J.M., García J.A. Rodríguez R., 1984. Influencia de la Encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) sobre la composición química del estrato herbáceo. *Studia Oecologica*, V:151–168.
- Quesada F., Somarriba E., Vargas E., 1989. Simulation of tree shadows in agroforestry systems. In: W.E. Reifsnnyder, T.O.Darnhofer (Eds.), *Meteorology and Agroforestry*. ICRAF, Nairobi, Kenya; 157–161.
- Radke J.K., Hagstrom R.T., 1976. Strip intercropping for wind protection. In: R.I. Papendick, P.A. Sanchez, E.B. Triplett (Eds). *Multiple cropping*. ASA special publication, Madison ,27 ,201–222.
- Raupach M.R., 1989. A practical Lagrangian method for relating scalar concentrations to source distributions in vegetations canopies. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 115, 609–632.
- Reicosky D.C., Peters D.B., 1977. A portable chamber for rapid evapotranspiration measurement on field plots. *Agro. J.*, 69, 729–732.
- Reicosky D.C., Sharratt B.S., Ljungkull J.E., Baker D.G., 1983. Comparison of alfalfa evapotranspiration measured by a weighing lysimeter and a portable chamber. *Agric. Meteor.*, 28, 205–211.
- Reid R., Ferguson I.S., 1992. Development and validation of a simple approach to modelling tree shading in agroforestry systems. *Agroforest. Syst.*, 20, 243–252.
- Ross J., 1981. The radiation regime and architecture of plants stands. Junk pub., The Netherlands, 391 p.
- Ross J., Marshak A., 1985. A Monte Carlo procedure for calculating the scattering of solar radiation by plant canopies. *Sov. J. Remote Sens.*, 4, 783–801.
- Rutter A.J., 1975. The hydrological cycle in vegetation In Monteith J.L. (Editor) *Vegetation and the atmosphere*, Academic Press New–York USA, 111–153.
- Rutter A.J., Kershaw K.A., Robins P.C., Morton A.J., 1971. A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agric. Meteorol.*, 9, 367–384.
- Robinson J.B., 1991. The growth of *Clorix gayana* whitin and adjacent to a plantation of *Eucalyptus grandis*. *Tropical Grasslands*, 25:287–290.
- Sakuratani T., 1981. A heat balance method for measuring water flow in the stem of intact plant. *J. Agr. Met.*, 37, 9–17.
- Scanlan J.C., 1992. A model of woody–herbaceous biomass relationships in eucalypt and mesquite communities. *Journal of Range Management*, 45:75–80.
- Schroth G., Zech W., Heimann G., 1992. Mulch decomposition under agroforestry condition in a sub–humid tropical savanna: processes and influence of perennial plants. *Plant and Soil*, 147:1–11.
- Sharma B.D., Bawa A.K., Gupta I.C., 1990. Physico–chemical changes in soil as influenced by natural tree and grass covers in arid rangelands. *Annals of Arid Zone*, 29:15–18.

- Shelton H.M., 1993. Chairperson's summary papers. Session 56: Silvipastoral systems. Proc. XVII Int. Grassl. Congress, 2072-2074.
- Shuttleworth W.J., Wallace J.S., 1985. Evaporation from sparse crops—an energy combination theory. *Quart. J. R. Met. Soc.* 111, 839-855.
- Sinclair T.R., Amir J., 1992. A model to assess nitrogen limitations on the growth and yield of spring wheat. *Field Crop Research*, 30:63-78.
- Singh K., Chauhan H.S., Rajput D.K., Singh D.V., 1989. Report of a 60 month study on litter production, changes in soil chemical properties and productivity under Poplar (*Populus deltoides*) and Eucalyptus (*E. hybrid*) interplanted with aromatic grasses. *Agroforestry Systems*, 9:37-45.
- Sinoquet H., Bonhomme R., 1992. Modeling radiative transfer within mixed and row intercropping systems. *Agric. For. Meteorol.*, 62, 219-240.
- Sinoquet H., Cruz P., 1994. *Ecophysiology of Tropical Intercropping*. INRA Editions, Versailles, sous presse.
- Sinoquet H., Mouliat B., Bonhomme R., 1991. Estimating the three-dimensional geometry of a maize crop as an input of radiation models: comparison between three-dimensional digitizing and plant profiles. *Agric. For. Meteorol.*, 55, 233-249.
- Sinoquet H., Valmorin M., Cabo X., Bonhomme R., 1993. DALI: an automated laser distance system for measuring profiles of vegetation. *Agric. For. Meteorol.*, 67, 43-64.
- Smith R.L., Schank S.C., Littell R.C., 1984. The influence of shading on associative N₂ fixation. *Plant and Soil*, 80:43-52.
- Snaydon R.W., Fernando D.N.S., Sangakkara R., 1989. The effects of coconut palms on pasture understorey. *Proc. XVI Int. Grassl. Congress*, 469-470.
- Stuart-Hill G.C., Tainton N.M., 1989. The competitive interaction between *Acacia Karroo* and the herbaceous layer and how this is influenced by defoliation. *Journal of Applied Ecology*, 26:285-298.
- Tardieu F., Bruckler L., Lafolie F., 1992. Root clumping may affect the root water potential and the resistance to soil-root water transport. *Plant Soil* 140, 219-301
- Teklehaimanot, Z. and Jarvis, P.G., 1991. Modelling of rainfall interception loss in agroforestry systems. *Agroforest. Syst.*, 14, 65-80.
- Teklehaimanot, Z., Jarvis, P.G. and Ledger, D.C., 1991. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *J. Hydrol.*, 123, 261-278.
- Thomas R.J., 1988. A review of the use of nitrogen-fixing shrubs and trees in agroforestry and farm/forestry systems in N. Europe. *Research and development in Agriculture*, 5, 143-152.
- Tournebize R., 1994a. Water relations in a shrub-grass intercrop and comparison with a pure grass stand. In: H. Sinoquet, P. Cruz (Eds), *Ecophysiology of Tropical Intercropping*, INRA Editions, Versailles, sous presse.
- Tournebize R., 1994b. Microclimat lumineux et transpiration d'une association arbuste/herbe, en milieu tropical: mesures et modélisation. Thèse Université de Paris XI Orsay. 75 pp + annexes.
- Tournebize R., Sinoquet H., 1994. Light interception and partitioning in a shrub/grass mixture. *Agric. For. Meteorol.*, sous presse.
- Turner N.C., 1991. Measurement and influence of environmental and plant factors on stomatal conductance in the field. *Agric. For. Meteorol.*, 54, 137-154
- Valancogne C., Granier A., 1991. Intérêt des méthodes thermiques de mesure du flux de sève pour l'étude du bilan hydrique des savanes. Niamey, 18-22 Février 1991. Soil water balance in the Soudano-Sahelian zone, AHS Publications, 3-14.
- Valancogne C., Nasr Z., 1989. Une méthode de mesure du débit de sève brute dans de petits arbres par bilan de chaleur. *Agronomie*, 9, 609-617.
- Van Auken O.W., Bush J.K., 1987. Influence of plant density on the growth of *Prosopis glandulosa* var. *glandulosa* and *Buchloe dactyloides*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 114:393-401.
- Van Keulen H., Seligman N.G., 1987. Simulation of water use, nitrogen nutrient and growth of a spring wheat crop. *Pudoc Wageningen*, 310 pages.
- Varlet-Grancher C., Gautier H., 1994. Plant morphogenetical responses to light quality and consequences for intercropping. In: H. Sinoquet, P. Cruz (Eds), *Ecophysiology of tropical intercropping*. INRA Editions, Versailles, sous presse.
- Varlet-Grancher C., Bonhomme R., Sinoquet H., 1993. Crop structure and light microclimate: characterization and applications. INRA Editions, Versailles, 518 p.

- Wallace J.S., Batchelor C.H., Dabeasing D.N., Soopramanien G.S., 1990. The partitioning of light and water in drip irrigated plant cane with a maize intercrop. *Agric. Water Management*, 17, 235–256.
- Weltzin J.F., Coughenour M.B., 1990. Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science*, 1:325–334.
- Wild D.M., Wilson J.R., Stür W.W., Shelton H.M., 1993. Shading increases yield of nitrogen-limited tropical grasses. *Proc. XVII Int. Grassl. Congress*, 2060–2062.
- Willey R.W., 1979. Intercropping – its importance and research needs. Part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstr.*, 32, 1–10.
- Willey R.W., 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water. Management.*, 17, 215–231.
- Wilson J.R., 1988. Ecophysiological constraints to production and nutritive quality of pastures under tree crops. In: Z.A Tajuddin (Ed), *International Livestock – Tree Crooping Workshop. MARDI/FAO, Serdang, Malasya*, 39–54.
- Wilson J.R. Ludlow M.M., 1990. The environment and potential growth of herbage under plantations. In: H.M. Shelton, W.W. Stür (Eds), *Forages for Plantation Crops. ACIAR Proceedings N° 32*, 10–24.
- Zinke P.J., 1967. Forest interception studies in the United states. In W.F. Sopper and H.W. Lull (Editors) *Forest Hydrology. Proc. of a National Science Foundation Advanced Science Seminar, Pennsylvania Aug. 29– Sept 10, 1965*, Pergamon Press Oxford, England, 137–161.

Quelques résultats d'économie relatifs à la gestion de la forêt paysanne

Définition de trois pistes de recherche

Jean-Philippe Terreaux

INRA – Station d'Économie et de sociologie rurales
Chemin Borde-Rouge, 31326 Auzeville
Tél. 61 28 50 28 – Fax 61 28 53 72

1 – Contexte de ce travail

Ce travail d'analyse de la bibliographie sur cinq thèmes de caractère économique pouvant présenter un intérêt pour la gestion de la forêt paysanne a été réalisé dans le cadre de l'Action Incitative Programmée de l'INRA "Les nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural / section 3.7: les relations agriculture-forêt".

Il s'est agi d'un exercice en temps limité (quelques mois), ce qui n'a pas empêché d'analyser une bonne partie des documents réalisés en France et à l'étranger, grâce à l'utilisation des bases de données informatiques et à quelques contacts complémentaires (pour l'étranger, avec des chercheurs du Canada, des USA, de Suède, de Belgique, des Pays Bas, de la Finlande et du Japon).

Cette étude n'est pas non plus sans lien d'une part avec les réflexions engagées à Toulouse dans le cadre de la préparation du contrat de Plan Etat-Région Midi-Pyrénées 1994-1998 (études relatives à la forêt paysanne) et d'autre part avec la mise en place d'une antenne du Département de Recherches Forestières de l'INRA à Toulouse-Auzeville, ce qui a été à l'origine d'un repositionnement des thèmes de recherche des autres départements qui travaillaient déjà sur la forêt dans ce Centre.

Les résultats obtenus ne sont pas tous spécifiques à la forêt paysanne: beaucoup concernent aussi la gestion de la forêt privée de petite taille, certains ont des implications pour la forêt privée de grande taille voire la forêt publique.

La définition de la forêt paysanne que nous utilisons ici est celle donnée dans Caillez et alii (1993): il s'agit des "parcelles forestières plus ou moins insérées dans l'exploitation agricole, gérées ou simplement utilisées par l'agriculteur". On ne la confondra pas avec l'aménagement sylvo-pastoral (forêt défensable aménagée pour le pâturage) ni avec l'aménagement agro-ligneux appelé parfois agroforesterie (prairies ou cultures qui sont co-plantées avec une densité modérée d'arbres de qualité à croissance rapide).

L'objectif de cette analyse de la littérature française et internationale est de décrire l'état des connaissances sur des thèmes prédéfinis afin de dégager les pistes de recherche les plus

pertinentes pour répondre aux questions que posent la mise en valeur ou le développement de la forêt paysanne. Ce n'est pas un travail de recherche à proprement parler.

Cette démarche a donné lieu à cinq synthèses bibliographiques, qui vu le temps limité dans lequel elles ont été réalisées, n'ont pas de prétention d'exhaustivité. On n'a pas établi de liste bibliographique générale sur ces thèmes, car cela ne présenterait que peu d'intérêt à l'ère des bases de données informatisées. Notre ambition est de décrire les résultats majeurs disponibles pour chacune des questions posées. Ces synthèses et les références des 161 documents cités dans le texte sont regroupées dans un seul papier de 75 pages (référence: TERREAUX, 1994b) disponible à la station ESR de l'INRA Toulouse.

Les contextes dans lesquels les résultats théoriques ou appliqués ont été obtenus sont souvent très différents de ceux rencontrés en France, que ce soit pour les relations agriculture-forêts, la littérature strictement forestière ou économique. Aussi on a veillé à bien préciser le domaine de validité des conclusions présentées.

Ces synthèses ont permis de formuler les questions à connotation économique auxquelles une réponse pourrait être donnée par la suite dans le cadre de cette Action Incitative Programmée (voir section 4).

2 – Créer et valoriser des espaces boisés

Rappelons simplement quelques chiffres qui montrent l'importance du problème étudié, d'un point de vue économique.

Sur le plan national, les bois et forêts des exploitations agricoles représentent 22% de la surface des forêts privées. 43% des exploitations agricoles possèdent des bois, forêts ou peupleraies. Leur surface moyenne est de 5 ha contre 3,6 ha pour les forêts privées (Cinotti, 1992). On y pratique essentiellement l'exploitation du bois de chauffage (6 exploitations sur 10).

La surface de cette forêt a diminué de 17% entre 1979 et 1988, et d'un tiers en 20 ans, la cause essentielle étant la dissociation des parcelles boisées des exploitations agricoles lors des mutations. Elle reste toutefois un atout important pour le développement de l'espace rural.

Elle est à l'origine d'un environnement généralement de meilleure qualité que celui induit par des pratiques agricoles intensives; elle produit aussi du matériau bois, dont les prix non subventionnés sont déterminés au niveau du marché international. Elle contribue ainsi à un équilibre du commerce extérieur plus favorable. Les perspectives d'évolution des prix du bois à long terme sont assez encourageantes au développement de cette activité.

Les agriculteurs, par leur présence sur le terrain et leur savoir-faire en matière de végétal ont donc ici une carte à jouer, dans leur propre forêt, ou en forêt d'autrui.

La forêt paysanne, déjà en place ou à créer, le sylvopastoralisme et les aménagements agroligneux peuvent contribuer pour ces derniers à la fois à leurs revenus, à la constitution d'un patrimoine ou à une volonté d'épargne de précaution, tout en étant une source d'externalités biologiques, paysagères ou de loisirs pour la société.

Ces externalités, de même que les effets induits sur l'emploi local et plus généralement l'aménagement de l'espace rural justifient le principe de flux monétaires (impôts/subventions) entre les propriétaires et la puissance publique.

Pour les agriculteurs la difficulté essentielle à la pratique de la sylviculture réside non pas dans le fait qu'il s'agit d'une nouvelle production (ils sont habitués à changer de "spéculation"), mais d'un nouveau mode de mise en valeur caractérisé en particulier par la durée importante de rentabilisation de l'investissement (même pour les taillis à courtes ou très courtes rotations qui nécessitent plusieurs cycles pour amortir leur mise en place), par des risques de natures différentes que ceux auxquels ils font habituellement face, par l'importance de l'irréversibilité des choix, et aussi par une fiscalité et des subventions spécifiques.

Une activité forestière peut aussi permettre de régulariser un écart trop important entre les facteurs de production que sont le travail et le foncier, à certaines étapes de la vie d'une exploitation. De manière générale, les travaux liés à la forêt peuvent recouvrir deux volets différents:

2.1. La mise en valeur de la forêt paysanne déjà en place

Si à l'heure actuelle, la forêt paysanne est utilisée pour une grande part à des fins de production de bois de chauffage, il serait possible de mieux valoriser ce patrimoine par la réalisation d'opérations sylvicoles (balivage...).

Il s'agirait alors de déterminer quelle est la politique optimale de récolte et de plantation (plus toutes les opérations sylvicoles intermédiaires) de manière à obtenir, en fonction des objectifs du propriétaire et des contraintes qui lui sont propres, des produits importants mais suffisamment réguliers.

La solution de FAUSTMANN habituellement proposée pour la gestion des forêts, et qui consiste à maximiser le revenu actualisé sur une durée infinie, peut alors ne plus convenir dans ce cadre. Ce qui ne signifie surtout pas que certains modèles de gestion qui ont pu faire leur preuve dans des cas très particuliers puissent être abusivement généralisés.

2.2. L'introduction d'espaces boisés productifs dans les exploitations

L'aménagement de nouvelles plantations, à partir d'un terrain nu dépend elle aussi des objectifs du propriétaire et des différentes contraintes auxquelles il doit faire face.

Cet aménagement sera caractérisé notamment par l'allocation de terres entre cultures et forêts et par la répartition des classes d'âges de cette dernière. Le problème est semblable pour l'agroforesterie. Cette répartition des terres, des heures de travail à consacrer à la sylviculture ou à l'agriculture, des revenus de l'exploitation et des investissements à consentir pourront ou non constituer à terme un équilibre. Ce dernier pourra être stable, instable ou encore indifférent vis à vis par exemple de la variation des paramètres tels que les prix du bois.

Les concepts à développer sont identiques qu'il s'agisse de taillis à courte rotation ou de forêts plus traditionnelles. Mais en pratique la courte durée de révolution des premiers fait que les problèmes d'allocation des terres et de dynamique des plantations n'ont pas la même importance.

3 – Rapports de synthèse réalisés

3.1. Gérer la forêt

On a vu que la surface moyenne des forêts détenues par les agriculteurs est de l'ordre de 5 ha. J. Gadant (1980) en déduit que si elles étaient "correctement" entretenues (sans précision sur les coûts induits), ces cinq hectares pourraient produire de 30 à 40 m³ de bois par an, ce qui peut représenter:

- 15 m³ de bois de feu, de quoi chauffer un ménage tout l'hiver,
- 15 m³ de bois d'oeuvre, soit un gros camion grumier vendu tous les 2 ans,
- ainsi que des perches, des poteaux, des piquets de clôture... récoltés en fonction des besoins de l'exploitation.

Malheureusement les situations individuelles sont souvent loin de cet idéal.

Nous avons donc examiné les résultats d'économie concernant les outils de gestion des espaces boisés qui peuvent présenter un intérêt pour la mise en valeur de la forêt paysanne.

On remarquera en premier lieu que la littérature économique concernant la forêt, et en tout cas les approches quantitatives débouchant sur des méthodes de gestion, ne tiennent compte en général que de la seule production de bois. Mais les produits de la chasse, les produits alimentaires (baies, champignons...) et les autres "externalités" rémunérées ou non constituent parfois l'objet essentiel des objectifs de la gestion explicitement ou implicitement menée. Ce point a été approfondi dans l'étude sur les externalités (section 3.3.).

Par ailleurs les méthodes d'aménagement mises en oeuvre actuellement sont définies principalement pour des forêts privées de grande surface ou pour des forêts publiques. Elles doivent donc être adaptées au cas des petites propriétés privées ou des propriétés très morcelées. Il en est de même des traitements sylvicoles qui pourraient être adaptés pour profiter au mieux des opportunités en temps disponible dans le monde agricole.

Il est donc essentiel de tenir compte des objectifs qui peuvent être assignés à ces espaces boisés, dans le cadre de la gestion globale de l'exploitation agricole, et en tenant compte des différentes contraintes.

Les objectifs de la gestion

Il serait certes illusoire de vouloir classer les propriétaires de forêts, qu'ils soient ou non agriculteurs, en fonction d'objectifs clairement séparés. La réalité correspond en général à des motivations mixtes. Néanmoins on pourra définir sommairement les objectifs économiques (voir Cavaillès & Normandin, 1993) que les agriculteurs poursuivent par leurs activités forestières:

– la diversification des sources de revenu, la recherche d'un complément de revenu ou encore la réduction d'un déséquilibre entre les facteurs de production que sont le travail et le foncier. L'agriculteur sera alors très sensible à la rentabilité de cette nouvelle "spéculation", au délai le séparant des premières recettes, et à la régularité de ces dernières, sachant qu'un atout important de cette activité est le fait que les flux de capital et de travail peuvent être décalés de quelques années sans trop de coûts indirects.

– un placement de précaution, qui sera utilisé à terme pour des investissements lourds dans l'exploitation (bâtiments, tracteurs) ou non, ou destiné à la retraite. La sensibilité sera alors très marquée vis à vis des problèmes de liquidité, d'irréversibilité, de risque, de rentabilité. La forêt peut aussi être un fonds de réserve en cas d'imprévu financier.

– un objectif patrimonial, pour les agriculteurs plutôt âgés, cherchant à transmettre un certain capital, donc particulièrement attachés entre autres à la sécurité du placement ainsi qu'à la fiscalité (avantageuse en forêt vis à vis des successions) et aux différents paramètres de la succession.

On comprend que l'on ne peut alors dissocier la valorisation de l'actif qu'est le foncier de la gestion de l'ensemble des ressources du ménage, compte tenu des différentes contraintes rencontrées.

Le problème peut aussi être posé dans une optique de cycle de vie (cf. Lifran, 1992), avec une phase d'investissement (lorsque la force de travail n'est pas totalement utilisée) en préparation de la retraite. La forêt correspond assez bien à ces besoins en terme de durée de retour de l'investissement (dans le cas d'éclaircies, de balivages, d'élagages...), et de niveaux de risques.

Il s'agit alors de déterminer quelle est la politique optimale de travaux, de récoltes, de plantations, de manière à obtenir, en fonction des objectifs, des contraintes et des potentialités de l'exploitation, des produits importants mais suffisamment réguliers.

Dans chacun des cas les principales contraintes ou atouts pour la production forestière sont la capacité d'investissement de l'agriculteur, la surface foncière de l'exploitation, la main d'oeuvre disponible à certaines époques de l'année, mais aussi par exemple l'éloignement de certaines parcelles des bâtiments d'exploitation, sachant qu'une production forestière demande moins d'attention qu'une production annuelle.

On notera aussi les problèmes d'information et d'économie d'échelle qui empêchent d'atomiser les décisions d'investissement: en général on se limitera à quelques essences et à quelques techniques sylvicoles, et on évitera les récoltes sur des surfaces trop réduites.

Les agriculteurs pourraient aussi trouver un intérêt à réaliser des interventions en forêt d'autrui: non pas qu'ils aient une mission générale d'entretien et d'aménagement de l'espace rural, mais parce qu'ils savent maîtriser le monde végétal, et parce qu'ils sont en général outillés pour ces types de travaux. Resterait alors à examiner la rémunération de ces travaux et les problèmes juridiques induits.

On a aussi examiné quelques règles simples proposées aux propriétaires de petites surfaces boisées, et leur incidence sur les résultats de la gestion, et parallèlement sur la réduction de la biodiversité qu'entraînerait une valorisation accrue de ces petites surfaces hétérogènes.

On notera enfin avec Max & Lehman (1988) que si en apparence les propriétaires forestiers peuvent avoir des comportements "inefficaces" conduisant à une mauvaise gestion et à de mauvais choix d'investissement, en général il n'en est rien. Simplement ils ont des motivations diverses et en général agissent avec une bonne rationalité. Cette apparente inefficacité provient essentiellement de la complexité de décrire ou d'analyser leurs objectifs.

3-2 Mettre en place un système viable

On a apporté ici une attention accrue au dilemme entre d'une part la recherche de revenus ou d'une charge de travaux relativement réguliers et d'autre part celle d'un rendement maximum.

Pour les nouvelles plantations on a examiné aussi la question essentielle de l'allocation optimale, au cours du temps, des terres entre agriculture et forêt, en fonction des objectifs du propriétaire et des contraintes.

Rien n'oblige en fait le système agriculture-forêt à converger vers un état stationnaire. Cela peut poser problème en particulier si les revenus ou la charge de travail évoluent, à l'optimum du système mis en place, de manière erratique. Ou encore si les produits sont autoconsommés ou transformés sur place (piquets de parc...) ou lorsque les possibilités d'absorption du marché sont limitées.

Cette régularité recherchée pour les récoltes de bois peut aussi avoir un impact macro-économique par exemple sur le niveau des activités ou des emplois de la filière de transformation du bois, sur la régularité de la diversité floristique, faunistique, sur la protection des paysages (pas de modifications brusques)...

Les deux points suivants ont retenu notre attention, dans le cas du boisement d'anciennes terres agricoles, et pour la valorisation des terres boisées:

Examen de l'état final : vers quelle répartition des terres se dirige-t-on in fine et pour les forêts en place vers quelle structure de peuplement; a-t-on stabilité de cet état ou bien des variations de type cyclique ou autre? Pour deux exploitations au départ dans une situation voisine a-t-on divergence des états finals (phénomène chaotique), ou bien convergence vers un même état? Quelle est la nature du revenu qui en découle?

Convergence vers cet état : quel est le programme optimal des travaux pour atteindre cet objectif en fonction des conditions initiales (activés hors forêt...) et des anticipations du propriétaire? Quels sont les outils de calcul utilisables (par exemple la programmation linéaire) et quel est leur domaine de validité?

La littérature étudiée est essentiellement étrangère (peu de travaux ont été menés en France sur ce thème), et pour la plus grande part de nature économique (par exemple la théorie de la croissance). Ces documents établissent certains critères généraux de convergence qu'il serait utile de réexaminer dans le cadre particulier de la forêt paysanne.

Le coût induit par la régularité des récoltes

En ce qui concerne la forêt paysanne le problème vient de ce que les forêts privées, surtout celles de petite taille, ne sont que rarement dotées d'une structure en classe d'âge des arbres permettant d'obtenir des variations acceptables des produits de la sylviculture et des travaux induits, sans une opération préalable de régularisation, ce qui n'est pas sans coût, ce dernier étant étroitement lié à la durée consacrée à cette opération de régularisation.

Il y a aussi des différences entre la recherche de récoltes constantes, la volonté d'avoir des récoltes qui ne baissent pas ou encore qui ne s'effondrent pas (nuance quantitative).

Une fois cette régularisation obtenue, différents problèmes peuvent survenir:

- des aléas peuvent perturber considérablement la planification (incendies, bris de neige...)
- les objectifs peuvent évoluer: soit par exemple parce que la surface de la forêt est modifiée (achat ou vente de parcelles...), soit parce que les objectifs pris en compte varient (ex. : valorisation nouvelle de la chasse, développement ou abandon de la production d'une catégorie de bois particulière: bois sous rail, poteaux, piquets de parc).
- cette recherche de la régularité des productions est une contrainte dont le coût peut être levé artificiellement. Par exemple favoriser une sylviculture intensive dans ce cadre va augmenter la suite des récoltes possibles tout en conservant cette contrainte de régularité. Cela peut donc conduire à calculer une rentabilité très importante de ces opérations de sylviculture, cette rentabilité n'étant due en fait qu'à une levée partielle de la contrainte.

Ainsi Hirshleifer (1974) cite le cas de taux de retour de certains investissements en forêt de l'ordre de 40%. Mais ce taux très élevé n'est pas dû à la rentabilité propre de ces opérations, mais principalement parce que ces opérations prévoient en cas de succès une production de bois plus importante, ce qui entraîne, par la contrainte de régularité, le fait que dès le présent il est possible de récolter plus de bois. D'ailleurs en cas d'échec total de ces opérations sylvicoles, la rentabilité ainsi calculée ne varie pratiquement pas.

Lorsque l'on cherche à obtenir des récoltes régulières, on diminue en outre la faculté de s'adapter aux fluctuations du marché des bois.

Futaies irrégulières

Un autre problème vient de ce que la plupart des modèles reposent sur la gestion de futaies régulières, à savoir (définition de Lanier, 1986) de futaies constituées par une juxtaposition de peuplements "équiennes" ou sensiblement équiennes.

Les petites forêts privées dont il est question ici correspondent plutôt soit à des taillis (peuplements constitués de tiges provenant du développement de rejets, drageons, marcottes...) plus ou moins abandonnés, ou à des futaie irrégulières c'est à dire (même source) des futaies dans lesquelles les parcelles présentent un mélange de plages équiennes d'âges divers ou de

plages équiennes et de plages jardinées. Les parcelles jardinées renferment un mélange équilibré d'arbres de tous âges éventuellement par bouquets.

On dispose de nombreux résultats sur le plan technique concernant les interventions sylvicoles à mener dans ces différents cas. Les résultats prenant en compte la dimension économique sont beaucoup plus rares.

Haight (1987) a étudié les interventions à mener au cours des premières années, et non plus en régime permanent: Pour les arbres en place, quelles sont les opérations de sylviculture à mener, et à quelles dates? A quelle date éventuelle va-t-on récolter la totalité de la parcelle, auquel cas on se ramène à une futaie régulière? Quels sont alors les traitements à envisager, et comment mener les rotations suivantes?

3.3. Les externalités et leur intégration

La forêt et les espaces boisés ne produisent pas que du bois. Ils sont la source de nombreuses "externalités", certaines rémunérées (location de droit de chasse), d'autres non.

Dans la déclaration de principes relatifs aux forêts de Juin 1992 (ONU CNUED, 1992), il est fait explicitement mention de ce que "les décisions prises sur la gestion (...) des ressources forestières devraient tirer profit, autant que possible, d'une évaluation approfondie de la valeur économique et non économique des biens et services forestiers et des coûts et avantages environnementaux".

De nombreux outils ont été mis au point pour quantifier ces externalités. L'analyse que l'on a proposé ici concerne non pas ces outils de mesure, mais l'intégration de ces mesures dans les critères de gestion des forêts.

La politique macro-économique, une fois définie, se traduit ensuite par un système d'obligations et d'interdictions (réglementation en place sur la chasse, le défrichement, l'urbanisme...), et d'incitations (système fiscal et subventions potentiellement attribuées) qui sont loin d'être neutres sur la gestion de ces forêts privées et qui permettent d'induire la production souhaitée des externalités.

Le problème est complexe: Vouloir une spécialisation absolue des forêts est en général sous-optimal. Le problème ne peut donc se réduire à déterminer quelle surface est à consacrer à tel usage. Au contraire il est nécessaire de déterminer in fine l'ensemble des interventions de l'homme sur chaque parcelle de manière à atteindre au mieux les objectifs définis.

J. C. GUERIN (1994) conclut d'ailleurs son très important rapport sur les "perspectives d'évolution de la sylviculture et de l'aménagement forestier dans les forêts françaises" en soulignant que "la première manière de protéger la forêt du XXI^e siècle reste donc bien de continuer à la faire produire, partout où cela s'avère souhaitable et possible, c'est à dire hors forêt de protection ou réserve biologique intégrale".

Il marque ainsi la rupture avec le discours de certains "naturalistes et écologues" qu'il cite et qui sans vouloir "aller jusqu'à la notion de forêt duale (une forêt intensifiée, une forêt abandonnée) considèrent inéluctable la création d'un éventail de forêts: de production

ligneuse, de production cynégétique, d'accueil touristique, de protection des sols, de protection biologique".

De plus à terme cela permet de développer une ressource beaucoup moins fragile vis à vis de différents aléas et des évolutions de la société (qu'elles se traduisent par une évolution des prix des différents produits ou des demandes vis à vis de la forêt).

On soulignera que les mots 'multiobjectifs', 'multiusages', 'préservant l'environnement' n'ont aucune signification opérationnelle. Nous avons donc examiné les différentes méthodes proposées dans la littérature visant à gérer la forêt en tenant compte de ces externalités (programmation à objectifs multiples, à niveaux hiérarchisés, par objectifs, introduction des risques,...).

Les résultats sur ce thème, pour être pleinement utilisables, devront être poursuivis par deux types de travaux:

Pour les forêts privées, il faudra décider des instruments politiques à utiliser (réglementation, incitation) et quantifier les différentes actions, pour assurer le lien entre les attentes de la société (biodiversité, paysage...) et les objectifs des propriétaires privés.

Mais il sera nécessaire en premier lieu de réaliser une estimation sérieuse, à savoir en particulier statistiquement fiable, de l'importance économique de différentes externalités, en tout cas de celles qui sont quantifiables. Cette connaissance permettrait d'établir plus précisément la conduite des peuplements qu'il convient de mener.

3.4. Prise en compte de la fiscalité et des subventions

Dans plusieurs pays d'Europe la forêt paysanne présente des spécificités en matière de subventions, du fait que les agriculteurs sont seuls à pouvoir prétendre à certaines aides ou parce que les plafonds des subventions sont plus élevés pour eux.

Dans le rapport d'étape Caillez & alii (Nov. 1993), Cavailhès rappelle que la théorie économique standard enseigne que, pour améliorer le bien-être collectif, il faut subventionner les activités produisant des externalités positives et taxer celles qui engendrent des effets externes négatifs. Il en déduit que si l'agriculture et la forêt produisent à la fois des externalités positives et négatives, il est peu probable que le positif l'emporte à tel point avec la première et le négatif avec la seconde pour justifier la différence des aides allouées à l'une et à l'autre par la puissance publique.

La situation actuelle est en fait surtout l'héritage du passé (importance de la population agricole, nécessité d'assurer la sécurité alimentaire...). Des évolutions de l'équilibre des aides entre agriculture et forêt sont donc probables, si les inerties ne sont pas trop fortes.

D'un point de vue macro-économique, la connaissance de l'efficacité relative des différents systèmes fiscaux et d'attribution de subventions est particulièrement importante, à un moment où les incitations proviennent de plusieurs niveaux de décision (Europe, Etat, Régions, Départements). Le risque est grand de voir les différentes mesures utiliser de manière non optimale les finances publiques, sans aller jusqu'à imaginer des incitations en sens contraire les unes des autres.

Les résultats de la gestion forestière sont particulièrement sensibles aux conditions fiscales en vigueur, à savoir aux différents modes de perception des impôts, à leurs taux, et aux exonérations éventuelles. Ils dépendent aussi étroitement des aides attribuées à la sylviculture, mais ce point a été beaucoup moins étudié dans la littérature.

Pour un propriétaire forestier privé il est important de savoir s'adapter aux évolutions éventuelles de la réglementation, en changeant le cas échéant les paramètres de la sylviculture, afin de poursuivre ses objectifs (revenu, épargne, patrimoine). C'est le cas en particulier pour les agriculteurs qui ont dû apprendre à s'adapter rapidement aux modifications de leur environnement économique ou juridique.

Ce point est particulièrement sensible dans le cadre de la mise en place de la prime au boisement des terres agricoles, ainsi que dans celui de l'attribution d'aides diverses par les conseils régionaux et généraux.

La littérature économique analysée concerne la mise en place par la puissance publique d'outils permettant à moindre coût d'inciter les différents propriétaires à répondre aux objectifs sociaux, chacun de ces propriétaires ayant ses propres motivations. On a examiné de plus certains systèmes en vigueur dans différents pays étrangers.

On a présenté ensuite la méthode de la modélisation, qui est à l'origine des résultats présentés par la suite. On a illustré l'importance du problème posé en comparant la baisse de rentabilité annuelle induite par la perception d'un impôt moyen de 50 F/ ha/ an, en fonction du mode de perception de cet impôt. D'autres résultats de la littérature sur la fiscalité sont ensuite présentés concernant la prise en compte des risques et des externalités.

3.5. L'irréversibilité

Le boisement d'une terre agricole est une opération quasi-irréversible pour des raisons économiques mais aussi administratives (interdiction de déboiser dans certaines conditions, taxe sur le défrichement).

Aussi la décision de boiser une terre constitue aujourd'hui un pari sur l'avenir. Lorsque le foncier appartient à un agriculteur, ce dernier va de plus comparer la rentabilité escomptée de son boisement avec celle issue d'une culture de ses terres. Or l'évolution de la politique agricole est difficile à anticiper sur une durée comparable à celle de la croissance des arbres. Alors dans une telle situation d'incertitude, il sera sans doute tentant pour l'agriculteur de repousser de quelques années sa décision, en restant dans la situation qui lui laisse le plus de souplesse pour s'adapter à l'évolution de la réglementation et aux opportunités nouvelles qui lui seront présentées.

L'objectif de cette analyse bibliographique est de faire le point sur le concept d'irréversibilité et sur celui qui lui est généralement associé: la valeur d'option. Bien que ces deux notions soient très liées à l'analyse du risque et à la théorie de l'information, on n'étudiera pas systématiquement la littérature sur ces deux derniers points.

On vise en particulier à cerner les conséquences de ces concepts en fonction des objectifs des propriétaires: par exemple un agriculteur cherchant à diversifier ses revenus attribuera en

général aux cultures annuelles une valeur d'option (valeur qu'il attribue à la capacité de modifier ses choix par la suite) plus grande qu'un agriculteur préparant sa succession.

L'irréversibilité peut se traduire concrètement par des modifications de choix d'investissement. Il ne s'agit donc pas d'une notion vague, non opérationnelle. Au contraire, l'approche que nous présentons permet de prendre des décisions de manière plus fine qu'une simple analyse des anticipations sur les risques.

Il est clair que ce problème dépasse largement celui du boisement des terres agricoles. Les premiers exemples présentés dans la littérature concernaient la disparition irréversible d'espaces à valeur environnementale et touristique (parcs naturels). En fait toute décision d'investissement est plus ou moins concernée par cette notion.

On note aussi que ces problèmes ne concernent pas uniquement la décision de boiser, mais aussi différents travaux de sylviculture: élagage, éclaircies...

La prise en compte de l'irréversibilité peut se traduire par l'introduction d'une valeur d'option pour le choix le plus souple. Deux concepts seront introduits: la valeur d'option, sorte de prime de risque, et la quasi-valeur d'option pour les choix séquentiels.

Par la suite, en premier lieu il serait utile de quantifier cette notion dans le cas de la comparaison de techniques sylvicoles et agricoles. Cela pourrait être une des raisons de la relative réticence des agriculteurs à boiser des sols qu'ils ne valorisent guère autrement.

En second lieu, l'examen de l'influence de l'irréversibilité sur des choix d'essences de durées de révolutions différentes, ou plus généralement sur des investissements en forêts (éclaircie, balivage) dont la durée de valorisation est variable, permettrait de mieux comprendre les choix réalisés par les agriculteurs, et in fine de mieux les conseiller.

Conclusion: Trois pistes de recherches

Les études de la bibliographie ont permis de faire le point des connaissances théoriques dont on dispose sur différents thèmes qui avaient été choisis en fonction de leur intérêt vis à vis des problèmes de gestion de la forêt paysanne existante ou à créer. Ces études ont mis à jour un assez grand nombre de pistes de recherche, mais trois points nous semblent prioritaires pour la suite des travaux menés dans le cadre de cette AIP.

Il ne s'agit pas de construire des modèles académiques, mais d'obtenir des résultats à caractères appliqués, même s'ils se fondent sur les développements les plus récents de la théorie économique et s'ils ont en conséquence une connotation théorique certaine. C'est pour cette dernière raison que l'on proposera de les réaliser en collaboration avec l'Institut d'Economie Industrielle de Toulouse.

Nous sommes bien conscients que les trois pistes de recherche proposées ne résument en aucun cas les différentes questions qu'il serait important d'approfondir pour une meilleure gestion de la forêt paysanne (aspects techniques, écologiques, paysagers, ainsi que les différentes études nécessaires pour connaître la valeur de certains paramètres...). Mais ces trois questions sont la

plupart du temps au coeur des problèmes rencontrés; et de plus il serait important d'y avoir travaillé pour valoriser au mieux les autres travaux.

1/ Mode d'attribution des subventions

Nous possédons déjà des résultats sur la différence entraînée par le mode de perception des impôts sur les résultats économiques de la gestion des forêts. Malheureusement ce n'est pas sur la fiscalité qu'il existe la plus grande marge de manoeuvre, mais plutôt sur les modes d'attribution des subventions.

Par ailleurs, si l'on reprend notre description rapide des systèmes en vigueur dans certains pays étrangers, on constate que les aides à la foresterie peuvent recouvrir un grand nombre d'aspects.

Il serait donc particulièrement utile de comparer l'efficacité économique de ces différents outils afin de déterminer le système le plus efficace à objectif (plantation de surfaces, production de bois, accroissement des externalités à cette production...) et à coût global fixé pour l'Etat.

On utiliserait dans la partie théorique de ce travail les techniques de statique comparative, et pour la partie appliquée on choisirait une essence dont on estimerait les principaux paramètres relatifs à la croissance, aux recettes et aux coûts.

Il serait aussi très important de ne pas considérer comme unique objectif du propriétaire la seule maximisation du bénéfice actualisé, mais d'introduire des objectifs plus proches de ceux que l'on a constaté pour les agriculteurs, et qui de plus tiendraient compte des contraintes de temps, de capacité d'investissement, et aussi de la régularité et de la rapidité de l'obtention des revenus.

Cela permettrait de mieux anticiper les effets des mesures prises à différents niveaux.

2/ Importance réelle de l'irréversibilité des choix

La sylviculture classique est une opération d'investissement à long terme. Pour un agriculteur désirant boiser une partie de ses terres, la durée du cycle de production a une incidence importante sur les choix des surfaces plantées, des essences et des traitements. Même dans le cas des taillis à courte et à très courte rotation, l'allocation du sol aux différentes productions en dépend.

Ce n'est pas forcément à cause d'une impossibilité d'investir sur le long terme que le propriétaire foncier hésite à se lancer dans la production de bois. Les raisons sont en bonne partie liées à la possibilité d'acquérir de l'information par la suite sur l'évolution par exemple de la Politique Agricole Commune, ce qui pourrait faire regretter le propriétaire foncier, et plus particulièrement les exploitants agricoles d'avoir immobilisé ses sols dans des productions qui s'avèrent moins rentables que les nouvelles alternatives qui lui sont proposées.

Cette prime à la flexibilité de certains investissements, la quasi-valeur d'option, a été introduite de manière théorique dans la littérature. Mais il serait utile de réaliser une estimation réelle de cette quasi-valeur d'option.

L'intérêt dépasse le cadre de la forêt paysanne, et devrait permettre éventuellement d'explicitier les raisons de certains choix d'essence en foresterie.

Le travail proposé consisterait à estimer numériquement la quasi-valeur d'option attribuée au choix d'une essence à durée de révolution plus rapide. Cela permettrait, pour une surface donnée (par exemple une exploitation agricole), de quantifier la différence de surface rationnellement allouée à chacune des essences.

Une illustration pourrait consister à définir pour cette surface quelle est la proportion à consacrer à une culture annuelle, à un taillis à courte ou très courte rotation, et enfin à de la sylviculture classique (on estimera ou l'on fera des hypothèses préalables sur la rentabilité comparée de chacune de ces cultures).

3/ La stabilité des structures de production

Lorsqu'un agriculteur décide de planter une partie de ses terres agricoles ou de gérer de manière plus dynamique sa forêt, il doit tenir compte des différentes contraintes qui pèsent ou sont susceptibles de peser sur son exploitation: utilisation du sol, facteurs limités que sont le travail et les capacités d'investissement. Par ailleurs il se doit de rechercher une certaine régularité de ses revenus.

Bien entendu les contraintes ne sont pas strictes: il est toujours possible d'acheter ou de louer des terres, de faire appel à des travailleurs extérieurs ou de contracter des emprunts auprès d'une banque. Mais si cela peut améliorer les résultats économiques de l'exploitation, la gestion de l'ensemble en est d'autant plus complexe.

L'examen des phénomènes de stabilité a montré que l'évolution du seul atelier de production forestière n'était pas trivial: on a pu constater, en fonction de différents paramètres, une évolution conduisant ce système vers un état stationnaire ou cyclique, ou subissant des variations quelconques, voire chaotiques.

On comprend les inconvénients et les coûts indirects que cela peut induire dans le cadre de la gestion d'une exploitation (fluctuation des besoins en main d'oeuvre, des besoins d'investissement, irrégularité des revenus...).

L'objet de ce thème de recherche serait de généraliser ces résultats en tenant compte de deux systèmes de production: l'agriculture d'une part (on pourra supposer pour simplifier une production annuelle) et la forêt d'autre part.

Quelle est alors l'évolution du système à long terme: quelles sont les conditions d'obtention d'une stabilité à long terme de la répartition des sols entre agriculture et forêt, et du côté forestier de la stabilité de la récolte de bois (dont on peut déduire la régularité des investissements financiers ou en heures de travail).

L'enjeu est important: il s'agit de savoir si en boisant une partie des terres des exploitations on met en place des systèmes de production viables ou non.

A terme il est important de connaître aussi la nature des équilibres obtenus, afin de savoir s'ils sont robustes ou s'ils doivent être remis en cause par chaque événement technique (pathologie des arbres par exemple) ou économique (variation des cours du bois, modification du système de subvention à l'agriculture).

Bibliographie

CAILLET F., J. CAVAILHES, B. HUBERT, F.X. de MONTARD, 1993 (Nov.), Forêt paysanne, agroligniculture et sylvopastoralisme, rapport d'étape, INRA.

CAILLET F., J.P. DEFFONTAINES, F.X. de MONTARD, H. OSSARD, 1993 (Avr.), Rapport du comité forêt paysanne et agroforesterie, INRA.

CAVAILHES J., D. NORMANDIN, 1993, Déprise agricole et boisement: état des lieux, origine et perspectives dans le cadre de la réforme de la PAC, *Revue Forestière Française*, 45, 465-482

CINOTTI B., 1992, Les agriculteurs et leur forêt, *Revue Forestière Française*, 44, 356-364.

HAIGHT R.G., 1987, Evaluating the efficiency of even-aged and uneven-aged stand management, *Forest Science*, 33, 1, 116-134.

HIRSHLEIFER J., A. DOWNS and alii, 1974, Sustained yield versus capital theory, in *The economics of sustained yield forestry*, University of Washington, Seattle, 10p.

TERREAUX, J.P. et alii, 1994a, Etudes et recherches relatives à la forêt paysanne dans la Région Midi-Pyrénées, Journées Forêt - Bois - Stratégie Régionale, Conseil Régional de Midi-Pyrénées, Toulouse, 26 Mai 1994, 12p. + 20 fiches de synthèse.

TERREAUX J.P., 1994b, Résultats et pistes de recherche concernant la gestion de la forêt paysanne: aspects théoriques, INRA, AIP: les nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural, ESR-TOULOUSE, 75p.

Téledétection et approches spatialisées appliquées à la forêt

Gilles Lechapt

Cemagref, groupement de Montpellier
Laboratoire commun de téledétection Cemagref-ENGREF
500, rue J.-F. Breton, 34093 Montpellier Cedex 5
Tél. 67 54 87 54 – Fax 67 54 87 00

L'objet de cette note est de présenter le Laboratoire Commun de Téledétection, laboratoire "ressource" pour le CEMAGREF, qui conduit des recherches sur les méthodes et outils de la téledétection et sur les approches spatialisées en général. Parmi les domaines d'application abordés par le LCT, c'est l'exemple des recherches sur le milieu forestier qui a été développé.

1 – Qu'est-ce que le LCT ?

C'est une structure très jeune puisqu'elle a été créée en 1988, par la fusion de la Division Téledétection du CEMAGREF avec le Département Téledétection de l'ENGREF. Depuis septembre 1994, l'ensemble de l'équipe est regroupée dans la Maison de la Téledétection de Montpellier, qui abrite également des laboratoires de téledétection et/ou cartographie de l'ORSTOM, du CIRAD et de l'INRA, ainsi que l'association du SIG régional Languedoc Roussillon.

C'est une petite équipe, composée de 9 ingénieurs-chercheurs, un technicien, et deux secrétaires, auxquels il faut ajouter 4 thésards et qui accueille de nombreux stagiaires chaque année.

Le laboratoire a une double vocation de recherche et de formation. Seul l'aspect recherche sera évoqué dans cette présentation; pour mémoire on peut indiquer que 20% environ du temps des chercheurs est consacré aux tâches de formation.

Créé au départ pour développer l'usage de la téledétection, le laboratoire a d'abord connu une phase de mise en place et de consolidation, et il était rapidement parvenu à une certaine stabilité. Mais il connaît à nouveau une phase d'évolution pour plusieurs raisons:

- La nécessité de savoir traiter des informations spatialisées de plus en plus diversifiées pour compléter et valoriser les données satellitaires.
- La participation active à la construction du Département Gestion des Territoires en développant les méthodes d'analyse/modélisation spatiale intégrant le domaine socio-économique à l'échelle de petites régions.
- La perspective d'intégrer dans un programme cohérent les travaux de recherche du Département Maîtrise de l'Eau de l'ENGREF-Montpellier.

Le LCT a développé une approche originale de recherches en télédétection, qu'on peut représenter à l'aide du schéma de l'annexe 1.

C'est une approche vraiment finalisée dans le sens où les applications commandent les recherches amont, avec une volonté de ne pas se laisser entraîner vers une logique de recherche sur l'outil ayant sa logique propre.

Il s'agit de véritables recherches et pas seulement de la mise en oeuvre d'une panoplie d'outils: en fonction d'un objectif final de production de variables thématiques qu'on peut qualifier d'élaborées (rendement, ruissellement, risque de feux,...), on remonte toute la chaîne jusqu'aux données brutes considérées comme les plus pertinentes, en sélectionnant, et en mettant au point si nécessaire, différents traitements préalables (niveau 1), et les modélisations qui donnent un sens à l'information radiométrique (niveau 2).

Les chercheurs du laboratoire sont en général des thématiciens ayant au départ une formation et une pratique d'ingénieurs (agronomes, forestiers, hydrologues...), et spécialisés ensuite en télédétection et traitement de l'information géographique.

2 – Exemple des recherches sur le milieu forestier

Le programme de travail a été initié en réponse à la demande de l'IFN (Inventaire Forestier National), pour mettre au point des méthodes de mise à jour de l'Inventaire Forestier par télédétection. Il s'agissait de détecter les changements majeurs (coupes, éclaircies, incendies...) par une méthode moins coûteuse que l'inventaire complet réalisé dans chaque département tous les 10 ans environ. Dans la pratique, cela supposait de savoir travailler dans les conditions moyennes de la forêt française, et une des principales difficultés a été de mettre au point des méthodes de corrections géométriques et radiométriques des effets du relief.

Plus généralement, le CNES souhaite en permanence développer de nouvelles applications pour ses satellites (SPOT, ERS1,...), dans le cadre de ses programmes SPOTAVAL et AVALSAR, et le LCT est le principal laboratoire de recherche à participer à ces travaux. Par ailleurs, le CNES soutient les recherches destinées à mettre au point des méthodologies de suivi de la forêt exploitant les capacités des nouveaux satellites: SPOT 4 (avec son canal Moyen Infra Rouge et son passager végétation), SPOT 5 (avec sa résolution améliorée).

Parmi les recherches originales développées au LCT, il y a lieu de signaler la mise au point, pour la première fois, d'une chaîne de traitement des images du satellite radar ERS1 pour corriger les effets du relief qui empêchent d'interpréter directement les images brutes tant elles sont déformées.

Les travaux se poursuivent maintenant pour développer des modèles d'interprétation de ces données radar corrigées qui permettront dans un avenir proche de faire des évaluations quantitatives des paramètres de la production forestière. On mettra ainsi à profit le pouvoir de pénétration des ondes radar dans le couvert végétal –contrairement aux données optiques, qui caractérisent seulement la partie superficielle du couvert.

Un problème important pour les forêts des régions méditerranéennes est la menace des incendies. Là encore, le LCT a apporté son concours, en proposant une amélioration des

méthodes de prévision purement météorologiques par des données de télédétection. C'est le canal thermique des satellites américains NOAA qui est utilisé pour détecter les périodes où le dessèchement de la végétation est le plus intense, et pour localiser approximativement les zones qui sont le plus exposées à ce risque d'incendie. L'intérêt de ce type de satellite est la fréquence des observations (quotidienne) mais la résolution est assez grossière (1 km). Pour la cartographie des risques du point de vue spatial, c'est le satellite LANDSAT TM qui est utilisé (résolution de 30m). Et des études complémentaires sont en cours avec les images ERS1 pour évaluer directement la teneur en eau de la végétation et du sol.

En résumé, l'exemple des recherches dans le domaine de la forêt montre:

- la grande variété des images satellitaires utilisées pour répondre aux différents besoins,
- l'importance des méthodes de prétraitement des images avant de pouvoir les analyser, et en particulier pour faire des traitements multitemporels,
- la grande richesse d'information qu'on peut extraire des données radiométriques par modélisation: cartographie de l'occupation du sol, humidité du sol et de la végétation, stress hydrique du couvert, hauteur du couvert végétal, biomasse ligneuse, etc.

Il est évident que tous ces travaux ne pourraient pas être réalisés sans un regroupement d'une masse critique de compétences qui couvrent l'essentiel du domaine scientifique de la télédétection. Et on rappellera le coût important de cette recherche en matériels informatiques et logiciels spécialisés. Mais il faut aussi souligner la nécessaire liaison qui doit exister entre cette équipe et les autres équipes de recherches travaillant sur divers domaines thématiques où la télédétection est susceptible d'apporter des résultats significatifs. Cette liaison nécessite que les spécialistes des outils ne soient pas enfermés dans leur discipline, mais possèdent une culture de base d'ingénieurs thématiciens.

3 – Les compétences propres et les collaborations

La double compétence d'un laboratoire ressource : disciplines et domaines d'applications

Les compétences de type disciplinaires sont horizontales par rapport aux différentes filières d'applications, qu'on peut qualifier de verticales. On peut donc représenter l'ensemble des domaines de compétences d'un laboratoire comme le LCT de façon matricielle. C'est l'objet de l'annexe 2.

On notera qu'il y a eu une évolution dans la part donnée par le LCT aux différentes filières d'application thématiques:

- les applications aux périmètres irrigués étaient prépondérantes à la création du LCT, mais leur poids est tombé à 15% environ;
- les applications hydrologiques et forestières se sont développées, et ce sont elles qui mobilisent maintenant l'essentiel des moyens (respectivement 30 et 40%);
- les applications à la gestion des espaces ruraux sont émergentes (env 15%).

On observe de même que les compétences disciplinaires ont évolué:

- un premier groupe qui correspond aux approches classiques de la télédétection, reste largement prépondérant (75 à 80% des ressources);
- mais les approches spatialisées représentent un champs nouveau qui a tendance à se développer, tout en gardant une très forte liaison avec le groupe précédent.

Il en résulte une tendance à la dispersion contre laquelle il est très difficile de lutter à effectif constant: mais que faut-il abandonner pour pouvoir développer les compétences dans de nouveaux domaines ?

Les collaborations avec les autres équipes de recherche

Dans le schéma de l'annexe 3, on a figuré les collaborations internes au CEMAGREF et l'ENGREF. On pourrait également représenter les collaborations avec des équipes d'autres organismes, et on s'apercevrait qu'elles sont plus nombreuses et souvent plus anciennes, tant il est vrai qu'on n'est pas prophète en son pays.

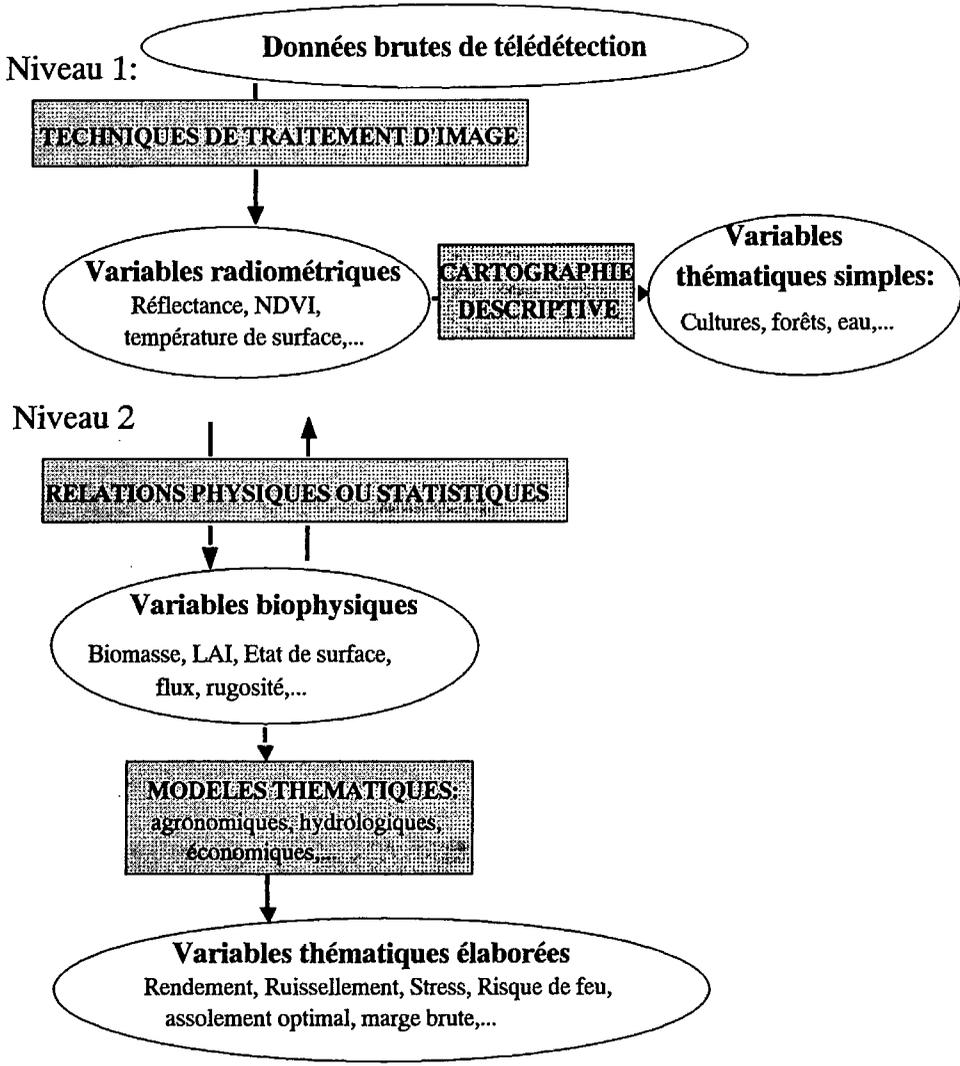
Mais il faut revenir sur le rôle d'un laboratoire ressources pour distinguer schématiquement deux types de collaboration:

- les collaborations de type aval, qui permettent d'opérer des transferts des compétences acquises par le LCT, en faveur des équipes utilisatrices des méthodologies mises au point;
- les collaborations de type amont, que le LCT doit conclure avec ses pairs qui sont des laboratoires homologues d'organismes identiques (INRA, IFREMER...), ou avec des laboratoires de recherche plus fondamentale (INRIA, CNRS...); c'est ce type de collaboration que développe le LCT avec des équipes du GDR CASSINI pour renforcer sa compétence en analyse/modélisation spatiale.

4 – Conclusions

Au cours des années passées, le LCT a construit une compétence forte dans un domaine scientifique relativement large (de la télédétection classique à l'analyse spatiale), et sur des applications thématiques variées (eau, forêts, agriculture) tout ceci malgré une taille modeste. Il est évident que le développement du laboratoire sur de nouveaux champs nécessitera au préalable une analyse minutieuse des enjeux et une évaluation des risques d'éclatement compte tenu des ressources humaines dont il peut raisonnablement être doté. De même que le LCT s'est créé par association de deux organismes aux moyens limités, il est probable qu'il lui faudra maintenant trouver de nouveaux modes d'association pour continuer son évolution dans un secteur de recherche en pleine croissance.

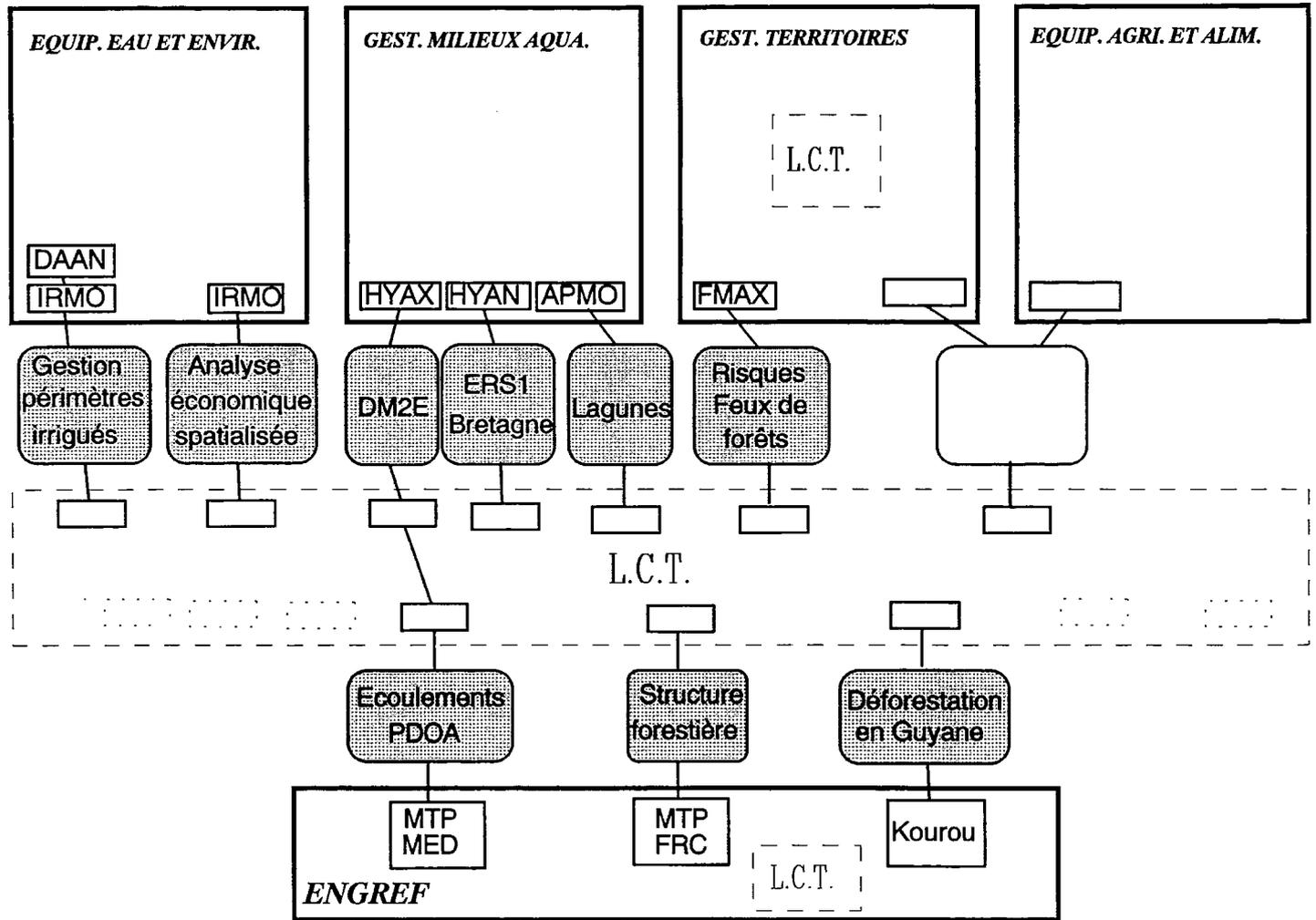
Annexe 1: Les différents niveaux de la recherche appliquée en télédétection



L C T

LES AXES SCIENTIFIQUES DANS LES DIFFERENTS DOMAINES D'APPLICATION

	Points forts / fédérateurs	RESSOURCES EN EAU Ecouls, transferts	TERRITOIRES Milieux forestiers	TERRITOIRES Gestion de l'espace	PERIMETRES IRRIGUES
DU SIGNAL	RADIOMETRIQUE	AUX VARIABLES	THEMATIQUES		
Corrections radiométriques et géométriques	Utilisation des MNT Modèles de correction	Corrections géom sur photos aériennes	effets du relief sur la géométrie et la radiométrie		
Modélisation du signal et inversion	Exploration et mise au point des applic. radar. Décomposition spectrale du pixel	Applic du radar: humidité du sol Décomposition du pixel	Applic. du radar: hauteur, volume, biomasse, teneur en eau, structure du couvert		Signature salinité
Approche multicateurs	Complémentarité optique/radar	Optique/radar	Stress hydrique (IRT/radar)		Optique/radar
Futurs capteurs	Haute résolution optique Radars multibandes	SPOT 5/6	SPOT 5/6 Radars, IRSUTE		IRSUTE
APPROCHE	SPATIALISEE:	ANALYSES	ET	MODELES	
Modélisation de l'organisation spatiale	Relations spatiales entre objets Interpolations aréales	+		+++	+++
Agrégation/désagrégation	Changements d'échelle	+++	++	+++	+
Modèles et SIG	Couplage de modèles classiques avec des SIG Développement de modèles spécifiques aux données spatiales	+++	++		++



Modélisation de systèmes agroforestiers

Michel Étienne¹ – Daniel Auclair²

(1) INRA – Unité d'Écodéveloppement
Domaine Saint-Paul, 84140 Montfavet
Tél. 90 31 62 49 – Fax 90 31 62 37

(2) INRA-CIRAD – Unité de Modélisation des plantes
BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1
Tél. 67 10 15 75 – Fax 67 10 15 99

Avertissement – La communication présentée ici résume très brièvement un programme de recherche financé par la Commission Européenne. Ce texte présente le cadre général du programme, puis développe brièvement les aspects concernant plus spécifiquement la modélisation. Pour plus de détails on pourra se référer aux rapports d'avancement.

ALWAYS : **Utilisation Alternative des Terres Agricoles avec des Arbres à Croissance Rapide** *Alternative Agricultural Land–Use with Fast Growing Trees*

Programme de recherche cofinancé par la Commission Européenne (Direction Générale Agriculture DG VI) contrat AIR3 – CT92–0134.

Durée 4 ans (01/1993 – 12/1996).

Contribution de la C.E. (total du projet : 1 800 000 ÉCU).

coût total du programme INRA	10,5 MF
apport INRA	6,5 MF
apport C.E.	4,0 MF

Participants INRA :

Unité de modélisation des plantes (INRA-CIRAD, Montpellier) : D. Auclair (coordonnateur général du projet), D. Barthélémy

Unité Agroforesterie et Forêt Paysanne (Toulouse) : A. Cabanettes

Station de recherches forestières (Bordeaux) : P. Trichet

Station d'amélioration des arbres forestiers (Orléans) : J. Dufour, L. Pâques, F. Santi, M. Verger

Laboratoire de croissance, production et qualité des bois (Nancy) : G. Janin, J.M. Leban

Laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux (Montpellier) : C. Baldy, C. Dupraz, S. Schilizzi

Station d'agronomie (Clermont-Ferrand) : F.X. De Montard

Unité d'Écodéveloppement (Avignon) : M. Étienne, P. Jullian, E. Thannberger

Unité régionale systèmes agraires et développement (Toulouse) : G. Balent, J.F. Bruno

Description du programme de recherche

Objectifs et originalité

La politique agricole européenne s'oriente actuellement vers une extensification des exploitations, dans le but de maintenir les agriculteurs sur place, de réduire les surplus agricoles, et de mieux s'intégrer dans les organisations de l'économie du marché. De nouveaux systèmes d'utilisation du territoire, plus extensifs et adaptés aux exigences du marché, doivent être développés. Une des solutions proposées consiste à diversifier les utilisations intensives des terres agricoles par la plantation d'arbres à croissance rapide, à large espacement pour permettre un maintien d'une activité agricole, et destinés à produire du bois de qualité. Deux aspects complémentaires sont pris en compte : la "forêt paysanne", où les parcelles productrices de bois sont séparées des autres productions, et "les systèmes agro-ligneux", où les arbres sont associés à des cultures agricoles ou à de l'élevage.

L'objectif du programme est de fournir des éléments d'aide à la décision à la fois aux agriculteurs et aux communautés locales et régionales. On vise d'une part une réduction de la production agricole intensive et d'autre part une augmentation de la production de bois de qualité.

Méthodes et étapes

La recherche se poursuit dans deux directions complémentaires.

Il s'agit d'une part de recueillir et d'analyser des données techniques et biologiques sur des sites agroforestiers expérimentaux préexistants, ou nouvellement installés, sur des aspects concernant le choix des arbres (espèces, génotypes), les techniques d'installation et de conduite des arbres, les effets des systèmes agroforestiers sur la production agricole ou les systèmes de gestion pastorale et sur la croissance, la forme et la qualité des arbres.

D'autre part les données recueillies dans cette première phase sont intégrées dans un système de modélisation de l'agroforesterie. Une première partie concerne la description qualitative et quantitative des mécanismes biologiques, et en particulier des interactions entre composantes agricole et forestière. Une deuxième partie vise à prédire les conséquences à moyen et long terme, et au niveau micro- et macro-économique. Les aspects sociaux et environnementaux sont également pris en compte.

Collaborations

Vingt chercheurs de l'INRA + 18 autres organismes de recherche-développement :

France : CEMAGREF (Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts), IDF (Institut pour le Développement Forestier), AFÔCEL (Association Forêt-Cellulose), CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), CIHEAM-IAMM (Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier), URSPFS (Union régionale des syndicats de propriétaires forestiers sylviculteurs du Languedoc-Roussillon).

Royaume Uni : MLURI (Macaulay Land Use Research Institute), IGER (Institute of Grassland and Environmental Research), QUB (Queen's University of Belfast), UWB (University of Wales Bangor), FC (Forestry Commission) ; *Italie* : ISSA (Istituto Sperimentale per la

Selvicultura de Arezzo) ; Portugal : UTAD (Universidade de Trás os Montes e Alto Douro), ESAB (Escola Superior Agrária de Bragança), ESAC (Escola Superior Agrária de Coimbra) ; Grèce : LARS-AUTH (Laboratory of Range Science, Aristotle University of Thessaloniki); Pays Bas : IBN-DLO (Institute for Forestry and Nature Research).

Programme de recherche

Contexte scientifique

Les aspects biologiques des systèmes agroforestiers sont bien étudiés dans les pays tropicaux, très peu en régions tempérées et méditerranéennes et surtout avec des espèces résineuses (NZ). Les mécanismes en jeu dans les relations arbre – herbacée – animal, et particulièrement avec des arbres à feuilles caduques, ayant des caractéristiques génétiques optimales, cultivés en vue de produire du bois de haute qualité, sont peu connus. Ils sont étudiés ici sur le terrain et au laboratoire, et particulièrement en relation avec le milieu et le climat (deux facteurs limitants sont particulièrement pris en compte : la lumière intéressant les pays du Nord, l'eau intéressant plus les pays méditerranéens).

Un modèle est en cours de développement, visant à décrire qualitativement et quantitativement les phénomènes biophysiques en jeu dans une parcelle agroforestière.

À une autre échelle, l'intégration de parcelles agroforestières au sein d'une exploitation agricole implique des modifications micro-économiques, mais aussi des modifications de l'ensemble du fonctionnement de l'exploitation : rotation des parcelles, conduite des troupeaux, prise en charge des travaux sylvicoles. Les agriculteurs, et leurs motivations, sont aussi étudiés ici. Enfin, quelques aspects environnementaux sont abordés, tels que l'impact de plantations agroforestières sur le paysage, ou sur la diversité de l'avifaune.

La modélisation des systèmes agroforestiers

La modélisation des systèmes agroforestiers est abordée simultanément à trois niveaux d'intégration : la parcelle, l'exploitation agricole et le territoire rural.

Le premier niveau est abordé en construisant le cadre général d'un modèle stationnel dit "modèle biologique global" permettant de décrire le fonctionnement d'un système arbre – herbe – sol – animal à l'échelle d'une surface élémentaire. Ce modèle rend compte des flux d'eau, d'énergie, de biomasse et de nutriments liés aux principales interactions existant entre les quatre compartiments du modèle (figure 1). Les variations observées dans le sens et l'intensité des interactions entre un peuplement forestier jeune et un peuplement adulte soulignent l'importance d'intégrer correctement le temps dans le modèle à bâtir.

Le deuxième niveau consiste à essayer de comprendre le rôle de parcelles agroforestières au sein d'une exploitation agricole pour simuler l'effet de leur développement sur les flux de fourrage, de bois et de trésorerie.

Enfin, au troisième niveau, la dynamique des parcelles dans l'espace est modélisée, au travers d'un Système d'Information Géographique, à l'échelle d'un territoire. Le modèle calcule des indices de diversité et cartographie le paysage futur selon différents critères.

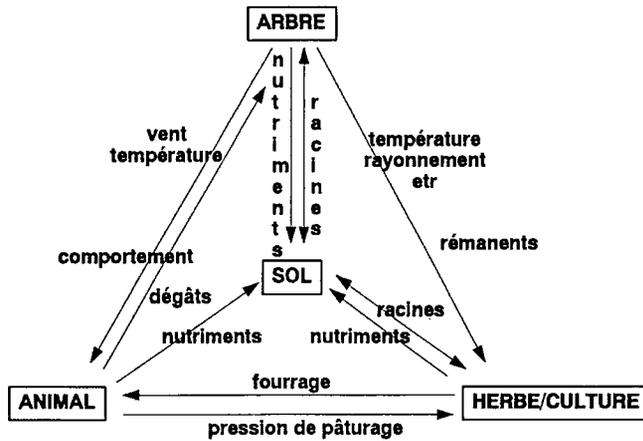


Figure 1 – Structure générale du modèle

Le modèle biologique est actuellement celui qui est le plus avancé. Trois axes ont été plus particulièrement développés.

1 – L'interaction arbre-herbe est abordée en modélisant l'effet de la croissance des arbres sur le microclimat par développement d'un ombrage qui doit modifier plus ou moins intensément, selon les régions concernées, les conditions de luminosité, de température et d'humidité au niveau de la strate herbacée. Ce sous-modèle essaie également d'intégrer l'effet de ces modifications microclimatiques sur la quantité et la qualité du fourrage ou de la culture, données qui pourront aisément être transformées en potentiel d'alimentation animale. L'effet dépressif périodique des rémanents d'éclaircie sera éventuellement pris en compte sous la forme d'un coefficient correcteur momentané à établir.

2 – Le cycle des nutriments est appréhendé en modélisant les apports de l'arbre, de l'herbe et de l'animal à partir de trois sources principales. Les feuilles et les produits d'élagage fournissent une litière dont il faudra connaître la qualité et la quantité, de même en ce qui concerne les résidus de culture ou de pâture. Selon les espèces présentes dans la strate herbacée, un apport important d'éléments nutritifs pourra provenir de la fixation d'azote par les légumineuses ou même d'une fertilisation décidée par l'agriculteur. Enfin, les modalités de conduite du troupeau entraîneront une plus ou moins grande restitution de nutriments via les urines et les fèces.

3 – L'interaction arbre – animal est prise en compte à travers les économies d'énergie que devrait réaliser l'animal grâce à l'effet protecteur de l'arbre par réduction des écarts thermiques et diminution de l'intensité du vent. L'effet négatif de rémanents ou d'andains sur le comportement des animaux sera éventuellement intégré sous forme d'un coefficient correcteur momentané à établir.

Acquis scientifiques de l'équipe

Travail actuellement en cours, résultats scientifiques partiels sur l'ensemble des points étudiés (cf. publications).

En plus des aspects scientifiques, la prise en compte de l'ensemble de la filière (caractérisation du milieu, techniques de plantation et de culture, de conduite des troupeaux, aspects économiques et environnementaux) ainsi que l'implication d'organismes de développement, devrait permettre une diffusion des acquis scientifiques vers les utilisateurs.

Publications récentes

Auclair, D., 1994. *Alternative agricultural land-use with fast growing trees*. EU contract AIR3 – CT920134. Annual report 12/94. Period 01/01/94 to 31/12/94.

Auclair, D., 1994. *Un programme européen de recherches coopératives en agroforesterie : ALWAYS – Utilisation alternative des terres agricoles avec des arbres à croissance rapide*. Troisièmes journées du réseau "Parcours" : Sylvopastoralisme et développement – de la gestion traditionnelle à l'aménagement. Tabarka (TUN). 1994/10/13–15. 18 p.

Baldy C., Dupraz C., Schilizzi S., 1993. Vers de nouvelles agroforesteries en climats tempérés et méditerranéens. I Aspects agronomiques. *Cahiers Agricultures* 2, 375–386.

Dupraz C., Guitton J.L., Rapey H., Bergez J.E., De Montard F., 1993. Broad-leaved tree plantations on pastures : the treeshelter issue. In : Hedeselskabet (Ed.). *Proceedings of the 4th International Symposium on "Windbreaks and Agroforestry"*, Viborg (DK). 1993/07/26–30. 106–111.

LOUIS - JEAN
avenue d'Embrun, 05003 GAP cedex
Tél. : 92.53.17.00
Dépôt légal : 381 — Mai 1995
Imprimé en France

Quelles sont les questions de recherche pertinentes
derrière les problèmes soulevés par la forêt paysanne
et l'agroforesterie, comment identifier
celles qui sont prioritaires ?

Dans le cadre de la mise en place d'un programme
commun, les chercheurs de l'INRA et du Cemagref
s'interrogent sur les problèmes posés par le
fonctionnement de systèmes de production à deux
strates, le développement ou l'introduction d'activités
forestières dans des exploitations agricoles,
leurs effets sur l'organisation du travail,
l'affectation des terres et du capital.

Il s'agit également d'en apprécier les conséquences
sur l'espace rural local, en termes de paysages, de
biodiversité ou de circulation des eaux.

ISBN 2-85362-414-5

Prix : 190 F TTC



9 782853 624145