PROGRAMME DE RECHERCHE

BIODIVERSITÉ ET GESTION FORESTIÈRE



RÉSULTATS SCIENTIFIQUES ET ACQUIS POUR LES GESTIONNAIRES ET DÉCIDEURS
PROJETS 2005-2009

Programme de recherche

«Biodiversité et Gestion Forestière»

Résultats scientifiques et acquis pour les gestionnaires et décideurs

Projets 2005-2009

GIP Ecofor

Ministère de l'Écologie, de L'Énergie,
du Développement durable et de la Mer,
en charge des Technologies vertes
et des Négociations sur le climat

© GIP Ecofor, MEEDDM, 2010, 1ère édition.

Citation recommandée (pour l'ouvrage complet) :
Bonhême I., Millier C. (coordinateurs), 2010.
Programme de recherche « Biodiversité et Gestion Forestière »
résultats scientifiques et acquis pour les gestionnaires et décideurs
projets 2005-2009. Paris, GIP Ecofor-MEEDDM, 128 p.
ISBN 978-2-914770-01-9

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de la Mer,
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat
92055 La Défense Cedex
Tél : 01 40 81 21 22

GIP Ecofor
42 rue Scheffer, 75116 Paris
Tél : 01 53 70 21 70

Maquette et réalisation : Inzemoon

Couverture : Pierre Alechinsky, détail de la fresque « L'arbre du voyageur »
© Adagp, Paris 2010

Biodiversité et Gestion Forestière
Organisation du programme de recherche

Le programme est piloté par le comité d'orientation, composé d'organismes, soutenu par un conseil scientifique composé d'experts scientifiques du domaine. Il est animé par le Ministère chargé du développement durable et par le Groupement d'intérêt public Ecofor.

Comité d'orientation

Présidé par la chef du service de la recherche, de la Direction de la recherche et de l'innovation du Ministère en charge du développement durable, il réunit les représentants des ministères chargé du développement durable, de la recherche, de l'agriculture, la Fédération des Parcs naturels régionaux, l'Inventaire forestier national, la Fédération nationale des communes forestières, l'Office national des forêts, l'Institut pour le développement forestier du Centre national professionnel de la propriété forestière, les Réserves naturelles de France, les Parcs nationaux de France, la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, AgroParisTech-Engref, les Espaces naturels de France, le GIP Ecofor.

Conseil scientifique

Présidé par Claude Millier, il est composé de chercheurs en écologie forestière, sciences économiques, sciences sociales et de gestionnaires spécialisés dans l'interface entre gestion et recherche.

Jacques Blondel (CNRS), Thomas Cordonnier (Cemagref),
Henri Décamps (CNRS), Jean-François Dhôte (ONF),
Christian Gauberville (IDF-CNPPF), Frédéric Gosselin (Cemagref),
Hervé Jactel (INRA), Roselyne Lumaret (CNRS),
Claude Millier (AgroParisTech-Engref), Serge Muller (Université de Metz),
Olivier Nougarède (INRA), Jacques Roy (CNRS), Daniel Terrasson (Cemagref),
Franck-Dominique Vivien (Université de Reims).

Introduction

Claude Millier, *président du conseil scientifique*

Les préoccupations concernant la biodiversité se sont accrues dans les années passées aux niveaux international, européen, national et régional avec des événements notables, des lancements de programmes et des innovations institutionnelles ; on se contentera de citer la conférence sur la biodiversité de 2005, l'année mondiale de la biodiversité en 2010 et la non-atteinte des objectifs fixés dans le cadre de la convention sur la diversité biologique, au niveau français, l'important travail fédératif et incitatif réalisé par l'Institut français pour la biodiversité, continué par la création de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, les appels d'offres recherche au niveau français (Agence nationale de la recherche : vmcs (vulnérabilité : milieux, climat et société), systerra (systèmes, territoires, ressources vivantes et agricultures),.., APR de l'IFB puis de la fondation, APR conjoint avec le programme gestion et impacts du changement climatique (GICC) sur l'interaction changement-climatique / biodiversité) ou européen (era-net biodiversitas, 6e et 7e PCRD), le Grenelle de l'environnement, la Stratégie nationale pour la biodiversité et la Stratégie nationale de recherche-innovation, …

Ce foisonnement exprime l'importance grandissante du domaine (avec l'espoir de créer au niveau mondial une structure analogue au GIEC[1], la plateforme internationale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES)), la

1 – Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

diversité des prescripteurs intéressés, l'insuffisance des connaissances scientifiques, le besoin d'une mise en œuvre de ces connaissances à des fins opérationnelles, les difficultés pour faire percoler l'urgence de la question auprès des citoyens, des consommateurs et des agents économiques.

Les instances peuvent donc se satisfaire d'avoir animé le programme « biodiversité et gestion forestière », précoce dans sa conception, son lancement et ses résultats. Il s'agit toutefois aujourd'hui, dans cet environnement foisonnant, de **délimiter le mieux possible sa spécificité qui est restée constante depuis le début**.

Bien sûr, l'objet d'étude privilégié est la forêt et ses milieux souvent associés (accrus naturels, reboisements, corridors, …), avec ses modes de gestion diversifiés, de la non-gestion et de la protection à l'intensification, de préoccupations de gestion de la parcelle à la forêt et au paysage et soumise à des politiques forestières également diversifiées.

La biodiversité s'y exprime sur ses différents niveaux : intra-spécifique, inter-spécifique, diversité des écosystèmes et des paysages et où l'analyse de la diversité de la strate arborée est plus particulièrement étudiée, du fait de son rôle prédominant sur le milieu et sur les services rendus.

L'originalité du programme réside finalement dans le « et » de « biodiversité et gestion forestière » qui doit être considéré comme un « et » effectif et non de façade, en confrontant dès la conception du programme, scientifiques, gestionnaires et responsables des politiques publiques, en appelant à la constitution de partenariats dynamiques dans la définition et la conception des projets et en proposant des suivis et des clôtures d'appel d'offres où systématiquement chercheurs et parties prenantes sont amenés à discuter ensemble les résultats de leur validation scientifique à leurs possibilités opérationnelles. Ces dialogues se sont construits progressivement, avec leurs échecs et leurs réussites mais font qu'actuellement, il existe une interface confiante de communautés aux missions et aux constantes de temps si différentes ; le colloque de restitution de Châlons-en-Champagne (du 9 au 11 septembre 2009) a montré que ces communautés avaient progressé dans leurs compréhensions réciproques et dans leurs capacités à dégager des synergies.

L'appel à propositions 2005, préparé sous l'impulsion de Véronique Barre, chargé de mission au ministère, et géré par le GIP ECOFOR (Ingrid Bonhême), était organisé en 3 volets distincts :

1 – Approfondir les connaissances sur la relation entre fonctionnement des écosystèmes forestiers, biodiversité et gestion.

Cette classe de problèmes est décomposée en plusieurs sous-problèmes faisant appel aux sciences écologiques : a) commet gérer un peuplement forestier pour atteindre des objectifs de maintien ou de restauration de la biodiversité, b) quel rôle jouent la composition et la structure du paysage à dominante forestière sur le maintien et la dynamique de la biodiversité, c) quelle diversité des essences doit-on rechercher pour optimiser la production forestière et/ou renforcer la stabilité de l'écosystème forestier ?

2– Développer les connaissances sur les dimensions socio-économiques de la relation entre gestion forestière et biodiversité
La biodiversité est un enjeu nouveau et perçu de manière variée par les différents protagonistes autour de la gestion et des politiques forestières ; pièce supplémentaire dans la gestion multifonctionnelle des forêts, elle nécessite des approches où les sciences sociales « seules » ou en collaboration avec d'autres disciplines biologiques ou techniques doivent avoir une place prééminente. Il s'agit ici en même temps d'augmenter le réseau des spécialistes autour de la forêt et le thème a été décliné de plusieurs façons : a) quelle rationalité des acteurs face à la biodiversité forestière ?, b) quelle concertation entre acteurs et quelle régulation économique ?, c) quels coûts pour des pratiques de la gestion de la biodiversité ?

3– Approfondir la réflexion sur les indicateurs de biodiversité
Aussi bien les acteurs de terrain que les prescripteurs de politique publique considèrent la question des indicateurs comme critique dans le suivi ou la comparaison des situations, la négociation avec les parties prenantes et le coût de leur fabrication est cruciale d'où une réflexion sur les potentialités d'indicateurs indirects
On peut considérer qu'à l'avenir les indicateurs et leurs protocoles de mise en œuvre seront co-construits : plutôt que d'ouvrir un appel sur ces questions, nous avons préféré constituer un groupe de réflexion dont les résultats seront publiés en dehors de cet ouvrage

35 projets ont été déposés, 8 projets ont été retenus : 6 projets majoritairement sur le volet 1, 2 exclusivement sur le volet 2, toutefois 2 projets du volet 1 ont eu une composante socio-économique importante.

Les situations forestières examinées sont très variées : de la populiculture et des plantations landaises et limousines aux forêts plus ou moins naturelles tempérées et tropicales, de gestions très tournées vers la production à la prise en

compte de contraintes écologiques, des propriétaires publics aux acteurs privés dans des contextes souvent multi-acteurs.

L'approche habituelle donne une place très importante aux observations de terrain interprétées dans le cadre de théories disciplinaires et alimentant d'ailleurs leur construction, nécessitant des composantes naturalistes (quel déficit sur les connaissances taxinomiques pourtant indispensables) mais cherchant systématiquement à comprendre les fonctionnements en particulier dans un objectif de prédiction.

Mais les propositions construisent aussi des protocoles quasi-expérimentaux ou utilisent des expériences déjà anciennes souvent construites pour d'autres fins ; dans un des projets de 2005, un plan expérimental a été construit pour dégager les relations de causalité qui manquent toujours autant dans nos analyses et pèsent sur la force des propositions.

La **valorisation** scientifique des projets est assurée par les publications des chercheurs dans les revues spécialisées. La synthèse des résultats scientifiques et les acquis pour la gestion présentés dans cet ouvrage participent à la logique de valorisation des projets auprès des acteurs de la gestion au même titre que les manifestations du programme. Au-delà de cela, que peut-on dire de leur valorisation pour l'action ?

D'abord la constitution d'un socle plus étendu et plus solide de connaissances permet de mieux préciser les conditions dans lesquelles une action peut être développée : on peut de cette façon se situer par rapport à des seuils, des risques concernant la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes forestiers ; l'intérêt de recherches finalisées est de se concentrer sur des connaissances proches de l'action par opposition aux connaissances plus génériques de la science de base.

Ensuite, la traduction des résultats de recherches en une valorisation effective n'est pas un processus simple ; comme dit plus haut, la collaboration « égale » entre chercheurs et acteurs permet une efficacité plus grande et en tous cas plus permanente.

Il faut distinguer deux publics d' « utilisateurs » potentiels, dont les attentes et les exigences apparaissent assez différentes : les gestionnaires, souvent appuyés par les agents de développement forestier, préoccupés par les aspects biologiques, techniques et économiques de leur action et confrontés à de nouvelles questions de terrain impliquant parfois de nouveaux acteurs (associations, collectivités,…) d'une part, les prescripteurs de politiques forestières soucieux de prendre en compte les résultats pour améliorer leurs outils et pour aider à leur évaluation d'autre part.

Le programme cherche à atteindre les deux publics, mieux même à les faire échanger sur ces problèmes de biodiversité ; les projets financés en 2005 émargent à l'une ou l'autre famille, de façon plus ou moins directe : ainsi si le projet sur les vallées alluviales de Champagne ressort clairement de la première, la réflexion collective sur les indicateurs apparaît satisfaire davantage les attentes des prescripteurs, le projet « bois mort » est plus équilibré, dénotant une convergence des intérêts « bottom-up » et « top-down ».

L'appel d'offres 2005 n'a pas retenu de projets en recherche-intervention, ils sont cependant indispensables pour mieux progresser dans un travail simultané sur les connaissances biologiques et sur les attentes des acteurs.

Les projets ont fait l'objet d'un colloque à mi-parcours (à Ferrière-en-Brie les 4 et 5 octobre 2007) ; après évaluation par le conseil scientifique du programme des différents projets, un colloque final de restitution a été organisée à Châlons-en-Champagne du 9 au 11 septembre 2009. Les projets étaient présentés par des gestionnaires ou des responsables des politiques forestières, évidemment orientant les débats sur les potentialités opérationnelles. Il a été essayé une synthèse à chaud des questions des gestionnaires et décideurs, reformulées en questions pour la recherche, offerte pour discuter des lignes fortes d'une nouvelle tranche du programme. Hervé Jactel pour le domaine écologique et Franck-Dominique Vivien pour les sciences sociales se sont prêtés au jeu, difficile et à risque, de cette synthèse ; on détaille ci-dessous quelques éléments de leurs propos[2].

La **caractérisation de la biodiversité** est le premier des axes de recherche en biodiversité forestière, comme dans d'autres écosystèmes d'ailleurs. Cette caractérisation passe évidemment par des étapes d'acquisition de données sur le terrain. Les scientifiques ne considèrent pas cette mission comme très stimulante et la taille de la tache à accomplir est colossale. Aussi, les efforts des scientifiques dans ce domaine pourraient porter sur la mise en place de méthodes d'échantillonnage performantes et la production d'indicateurs adaptés à la question, l'échelle et à l'utilisateur concernés.

Il est aussi nécessaire, dans le contexte changeant dans lequel nous vivons et de manière générale pour améliorer la compréhension du fonctionnement de l'écosystème forestier, de réfléchir à des moyens de suivi à long terme des écosystèmes.

2 – Ces propos ont été repris d'après les minutes du colloque, il peut exister un décalage avec le discours des auteurs, nous les prions de nous en excuser.

Il s'agit ici de proposer des méthodes de suivi qui puissent être réappropriées par les gestionnaires une fois qu'elles sont validées, ces méthodes doivent donc être simples, leur performance résidant alors plus sur la répétabilité des mesures que sur leur précision. De même, le choix des mesures à effectuer doit être optimisé du point de vue du ratio coût/précision.

Une fois la biodiversité décrite, il devient intéressant de lui attribuer une valeur. La **valeur écologique de la biodiversité** est nécessairement relative ; elle sera donnée par la comparaison de l'endroit à considérer avec d'autres endroits similaires. Se pose alors la question de la référence ; doit-on comparer un milieu à son « alter-ego » à l'état naturel, à l'état semi-naturel,… Ces interrogations amènent aussi à s'interroger sur la notion de « naturalité » d'un écosystème. On peut aussi vouloir comparer la valeur écologique de la biodiversité d'un lieu à un moment donné par rapport à son état antérieur. C'est d'ailleurs la base du questionnement du programme BGF que de savoir si la biodiversité augmente ou diminue (l'augmentation est-elle d'ailleurs toujours liées à une valeur plus grande ?) après telle ou telle pratique de gestion. En outre, l'état antérieur peut être envisagé de façon fixe ou au contraire inscrit dans une trajectoire non linéaire.

L'effet de la sylviculture sur la biodiversité a souvent été évalué de manière très partielle dans l'espace temps, il serait dorénavant intéressant que les différentes pratiques puissent être jugées sur leur effet à long terme au moins sur le cycle sylvicole complet. Pour le chercheur, il s'agit alors de faire des suivis diachroniques ou bien des suivis synchroniques bien pensés. Il est aussi intéressant de caractériser la nature temporelle de certains effets de la gestion sur la biodiversité : quels sont les effets latents, les effets immédiats, les effets à long terme, … Pour évaluer l'effet de pratiques innovantes, il apparaît également utile de pouvoir expérimenter, les conditions expérimentales permettant d'analyser une diversité de techniques importante et d'améliorer la portée statistique des résultats en limitant les effets confondants et en intégrant des parcelles témoin.

La distribution de la biodiversité dans l'espace, tout comme son évolution dans le temps, est aussi une question scientifique importante. Sa distribution peut être analysée à différentes échelles : celle de la propriété forestière, celle du massif, celle du paysage. On peut se demander si l'objectif est de maintenir la biodiversité en tout point (diversité α) ou bien à l'échelle du massif (diversité γ), ce qui est plus simple à réaliser. La distribution des modes d'occupation des sols et des différents types de gestion à l'échelle du territoire est aussi une question intéressante en termes d'impact sur la biodiversité.

À l'échelle des territoires où les politiques d'aménagement sont menées, les milieux naturels sont mixtes, les paysages forestiers côtoient les milieux ouverts. Les milieux ouverts intra-forestiers et les lisières jouent des rôles importants dans l'écologie de bon nombre d'espèces (échanges d'espèces, effet buffer, corridor, barrière).

Les arbres hors forêts, c'est-à-dire, les haies, les bois agricoles, les arbres urbains sont aussi susceptibles de jouer un rôle dans la conservation d'une certaine part de la biodiversité.

Tous ces éléments sont à intégrer dans la réflexion concernant la distribution dans l'espace de la biodiversité forestière dans laquelle le programme BGF s'engage au travers de la prise en compte des politiques territoriales dans leur relation avec la biodiversité forestière.

Franck-Dominique Vivien, économiste de formation, a noté **l'absence de projets à contenu majoritairement économique** ; au moment où se développent les réflexions sur les services rendus par les écosystèmes forestiers et leur valorisation en particulier économique, ce manque ne peut longtemps perdurer même s'il est difficile d'attirer les équipes compétentes ; les questions de valeur se déplaçant de l'existence à l'usage doivent devenir essentielles pour gérer correctement la multi-fonctionnalité.

Les forêts (et leurs acteurs) étant plongées dans des territoires concrets, c'est toute **la logique des développements de territoire** et donc les problématiques des sciences sociales qu'elle engendre qui sont convoquées ici avec les particularités de la propriété forestière, de la longueur des cycles forestiers et de la nature « commune » des biens que constituent la biodiversité.

À ce titre, **la façon dont les acteurs s'emparent et s'approprient les dispositifs institutionnels** (contrats de territoires, politiques de préservation de la biodiversité, dispositions du Grenelle de l'environnement, outils mis en place dans le cadre de politiques forestières,..) est un sujet d'étude et de recherche important car on peut observer une large gamme de situations des conflits aux co-constructions, d'ailleurs abordée dans les projets de sciences sociales de l'appel 2005.

Si on est d'accord sur la nécessité d'accroître les connaissances biologiques, il faut savoir aussi tenir compte des **savoirs profanes et vernaculaires** et en même temps prendre en compte les **capacités d'apprentissage personnels et collectifs des acteurs** ; dans ces nouveaux contextes, la place et le rôle de l'expert ont évolué et c'est de plus en plus la maîtrise des conditions de médiation qui apparaissent déterminer la qualité des solutions ; il faut dépasser

le clivage entre ceux qui savent et ceux qui ne savent pas, qui dans beaucoup de cas est une simplification très fausse des situations et en tous cas ne peut nourrir un progrès dans l'action. **D'autres disciplines des sciences sociales devraient intervenir dans le programme à l'avenir : histoire, éthique, droit, psychologie.**

Finalement, le dialogue décideurs-chercheurs-gestionnaires, déjà institutionnalisé au sein des instances, a été élargi au public du programme lors des journées du 9 au 11 septembre 2009. Les questions pour la recherche « co-construites » qui en sont issues sont largement reprises dans le projet du prochain APR dont la sortie est prévue début 2010.

Sommaire

Quel mode de régulation et de gestion durable des ressources forestières pour la biodiversité ? Une analyse à partir de la coordination locale
Valérie Angeon et **Armelle Caron** (AgroParisTech-ENGREF) **15**

Recherche des voies, conditions et moyens d'une prise en charge renforcée des enjeux de la biodiversité par les propriétaires et les gestionnaires forestiers
Alain Bailly et **Hervé Brédif** (Institut Technologique FCBA) **29**

Influence de l'intensite d'exploitation et du degre d'ouverture de la canopee en foret tropicale humide sur le maintien et la dynamique de la biodiversite
Christopher Baraloto (INRA) **45**

Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne
Alain Berthelot (FCBA) **55**

Représentations sociales et intérêts écologiques de la nécromasse (RESINE)
Christophe Bouget (Cemagref) **71**

Corylus : Influence de la composition et de la structure des masses forestières sur la biodiversité
Jean-Luc Dupouey (INRA) et **Laurent Bergès** (Cemagref) **89**

Diversité fonctionnelle des arbres et réponse de l'écosystème forestier aux changements climatiques
Hervé Jactel (INRA) **109**

Quelle diversité des essences pour quelle production et quel fonctionnement du sol ?
Jacques Roy (CNRS) **117**

Index des mots-clés **125**

Quel mode de régulation et de gestion durable des ressources forestières pour la biodiversité ? Une analyse à partir de la coordination locale

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : 30 janvier 2006
Montant du budget : 137 519 € HT
Cofinancements obtenus : néant

Coordinateurs

Valérie Angeon et Armelle Caron, AgroParisTech-ENGREF
UMR Métafort
24, Avenue des landais 63170 Aubière – France
Email : Valerie.Angeon@agroparistech.fr, Armelle.Caron@agroparistech.fr

Autres participants au projet

Delphine Azoulay (Cemagref puis AgroParisTech), Monique Bouchaud (Cemagref), Jean-Paul Bousset (Cemagref), Philippe Chambon (ENGREF), Claire Choquet (Cemagref), Hélène Gross (Cemagref), Catherine Macombe (ICGREF-Cemagref), Xavier Niveleau (Cemagref), Laurent Planchet (Cemagref), Yves Poss (IGGREF AgroParisTech – ENGREF), Richard Raymond (AgroParisTech – ENGREF), Marie Taverne (Cemagref), Estelle Vicard (Cemagref)

Mots-clés : biodiversité forestière, ressources naturelles, pratiques de gestion, apprentissage, lien social, institutions, situation de gestion, capital social, proximité, droits de propriété

Objectifs des recherches

Comprendre les conditions et les moyens par lesquels une prise en charge volontaire et collective d'objectifs de conservation de la biodiversité est possible.

Présentation des travaux

Introduction

Le projet de recherche « Quel mode de régulation et de gestion durable des ressources forestières pour la biodiversité ? Une analyse à partir de la coordination locale » porte sur les pratiques de gestion mises en œuvre par les propriétaires forestiers privés dans le Massif central. L'objectif principal de ce projet est de contribuer à l'analyse des démarches visant à intégrer les principes de durabilité, en particulier en matière de conservation de la biodiversité, dans la gestion forestière. Cet objectif de gestion durable implique que les règles d'usage des ressources forestières soient définies et collectivement respectées, ce qui suppose l'élaboration d'accords et de compromis entre les acteurs parties prenantes. Nous nous intéressons aux conditions d'émergence de ces démarches d'essence collective : quelles actions collectives locales prennent en compte la conservation de la biodiversité ? Comment ont-elles pu émerger ? Peut-on préjuger de leur pérennité ? L'étude comporte également un volet appliqué et porte, dans une perspective comparative, sur six terrains d'étude.

À propos de la biodiversité, le projet rend compte des représentations des acteurs (c'est-à-dire les propriétaires forestiers) ainsi que des modalités de prise en considération de sa conservation dans leurs pratiques de gestion. Nous avons visé à **caractériser les conditions et les moyens qui rendent possible la prise en charge collective d'objectifs relatifs à la biodiversité** et à fournir des clés de lecture sur la façon d'inciter les acteurs à s'investir dans des pratiques de gestion forestière favorables à la conservation de la biodiversité.

Notre réflexion sur l'émergence de démarches concertées en faveur d'une gestion forestière durable dans le respect de la biodiversité est abordée à travers l'analyse de la cohésion sociale locale. L'argumentaire développé est que l'intensité et la nature des liens sociaux importent dans la conduite d'actions collectives. Le champ des sciences économiques et de gestion se révèle particulièrement pertinent pour analyser les propriétés des relations sociales et les formes d'organisation collective. Les approches théoriques retenues sont celles du capital social (sciences économiques) et des situations de gestion (sciences de gestion). La première, qui définit la propension à l'action collective (Woolcok et Narayan, 2000), traite des relations sociales (nature, forme, intensité) et de leurs effets dans les démarches de projets communs. La seconde appréhende en termes de « situations de gestion » les projets collectifs menés. Il faut entendre par là un ensemble d'acteurs disposant des ressources indispensables à l'accomplissement d'une action collective et qui se sentent investis du devoir d'accomplir ensemble cette action (Girin, 1990). Les deux approches sont

complémentaires et s'articulent sur le plan des dynamiques de relations sociales. L'hypothèse générale énoncée est que la qualité des liens sociaux (appréhendée par le capital social) joue à la fois sur l'émergence et la stabilité des « situations de gestion » caractérisant des formes d'action collective. En d'autres termes, nous postulons que les caractéristiques sociologiques des acteurs influent sur leur capacité d'organisation collective. Cette propension à l'action collective est ici appréhendée par des démarches concrètes en matière de gestion forestière et de prise en compte de la biodiversité.

Matériels et méthodes

Méthode

Conformément à la posture de recherche dont se réclament les chercheurs impliqués dans le projet, l'étude comprend une forte dimension appliquée. Le rapport au terrain est instruit, d'une part, à travers une volonté d'explicitation du réel observé à partir de grilles d'analyse théorique et, d'autre part, par une interaction continue entre acteurs et chercheurs dans une perspective réflexive. Deux types d'investigation ont été menés. Premièrement, nous avons cherché à appréhender les représentations qu'ont les propriétaires forestiers de la biodiversité ainsi que leurs pratiques de gestion. Sur cette base, des entretiens semi-directifs actifs ont été conduits. Ces entretiens ont été alimentés par des grilles d'analyse théorique se référant à l'action collective (théorie des situations de gestion).

Deuxièmement, nous avons mis en place un dispositif d'évaluation des dynamiques d'apprentissage dont font preuve les propriétaires forestiers en matière de gestion durable des ressources naturelles et de préservation de la biodiversité.

Sites et cas retenus

Au total six terrains d'étude couvrant une diversité d'espaces forestiers caractérisés par des dispositifs institutionnels et des dominantes fonctionnelles différenciés ont été investigués[1] : le site Natura 2000 du Mont Bar (Auvergne), la Charte Forestière de Territoire de Volvic (Auvergne), le Parc Naturel Régional du Morvan (Bourgogne), le Plan de Développement de Massif de la montagne Thiernoise (Auvergne), la zone du Groupement de Développement Forestier Monts et Barrages (Limousin) et le Parc National des Cévennes. Deux d'entre eux ont fait l'objet d'une expérimentation in situ visant à mesurer l'évolution des pratiques de gestion des propriétaires forestiers. Il s'agit du site Natura 2000 du Mont Bar et du Plan de Développement de Massif de la montagne Thiernoise.

1 – Ces terrains ont diversement servi de support à l'instruction de notre réflexion.

Résultats

Les principaux résultats de notre travail peuvent se résumer comme suit.

- Les propriétaires forestiers se font une **représentation de la biodiversité** à travers deux indicateurs principaux : la **présence de bois mort** et le **mélange d'essences forestières**.

- **Les actions collectives repérées ne sont pas spécifiquement centrées sur la préservation de la biodiversité**. Pour chacun des sites étudiés en effet, différents modalités d'actions collectives ont été recensées avec un impact plus ou moins important sur la biodiversité.

- Nos résultats d'analyse confirment que **les dynamiques sociales contribuent à la pérennité, la stabilité et la résilience des systèmes écologiques et sociaux (SES)**. Un SES rend compte de l'intrication étroite d'un système écologique et d'un système social. Cette terminologie décrit tout ensemble de systèmes sociaux au sein desquels les relations d'interdépendance entre individus se cristallisent et sont médiatisées par des interactions avec des entités biophysiques et des entités biologiques non-humaines.

Nous nous sommes attachés à une exploration des modalités d'action collective et de gestion durable des ressources naturelles forestières en considérant l'importance de la qualité du lien social dans ces processus. Une telle réflexion s'inscrit dans le cadre de l'évolution des référentiels des politiques publiques posant comme pertinentes l'échelle locale (en tant qu'espace d'action) et la prise de décision concertée.

Nous nous sommes alors livrés à une exploration des mécanismes de coordination locale et avons cherché à comprendre quels types de liens sociaux favorisent l'émergence d'un système écologique et social robuste, garant d'une gestion durable des ressources. Nous montrons que si des dynamiques de proximité forte entre acteurs permettent dans certains cas une prise en charge volontaire et collective des ressources naturelles, elles peuvent dans certaines conditions générer des externalités négatives et nuire à la pérennité d'un SES. **C'est donc dans l'articulation entre différentes formes de proximité entre acteurs que se trouvent des pluralités de réponses aux enjeux de gestion collective durable des ressources.**

Enfin, cette étude montre que **les dynamiques d'apprentissage des propriétaires forestiers sont plus marquées dans un contexte d'action collective que purement individuelle**.

Discussion

Les temps forts de la discussion s'organisent autour des différents résultats produits.

À partir de la grille interprétative des situations de gestion, nous avons mis en évidence, sur l'ensemble des territoires observés, que les acteurs ne s'organisent pas directement autour d'enjeux de conservation de la biodiversité. Les propriétaires forestiers ne savent d'ailleurs pas nécessairement définir ce qu'est la biodiversité. Ils s'en font d'ailleurs un niveau de représentation particulier autour du mélange d'essences et de la présence de bois morts. Autre singularité, il apparaît que les initiatives collectives en matière de gestion des ressources forestières sont relativement faibles. Si ces résultats sont communs à l'ensemble des cas d'étude, il convient de déterminer si ces caractéristiques sont propres au contexte du Massif central (histoire, fonds sociologiques) ou si elles sont davantage contingentes aux cadres institutionnels dans lesquelles s'inscrivent les acteurs. C'est tout l'enjeu des résultats tirés de la réflexion analytique sur les facteurs socio-institutionnels.

Du fait de l'adhésion collective qu'elles requièrent à une échelle territoriale pertinente, les pratiques de durabilité invitent à considérer les institutions de gestion collective des ressources naturelles (Ostrom, 1990, 2000 ; Bromley, 1992 ; Schlager et Ostrom, 1992). Il s'agit de caractériser la diversité des formes d'arrangements institutionnels locaux (formels ou non) qui encadrent les usages des ressources déterminés comme des éléments structurels clés pour la pérennité des formes d'action collective qu'ils permettent mais également des ressources qu'ils régulent.

Nous montrons que l'échelle territoriale est une échelle pertinente de mise en commun d'actions collectives en faveur d'une gestion durable des ressources. Cet espace de proximité permet en effet la cristallisation de liens sociaux forts entre acteurs, de nature à favoriser l'émergence d'un système écologique et social robuste, garant d'une gestion durable des ressources. Ce résultat d'analyse sur la constitution d'un espace de proximité entre acteurs s'inscrit en cohérence avec celui que nous avons obtenu dans le cadre de notre expérience de recherche-action[2].

Ce dispositif consistait à frapper l'attention des propriétaires forestiers par des « faits marquants » ou « marqueurs » (diffusion d'idées nouvelles) et à repérer

2 – La conduite d'une recherche-action implique une posture particulière de recherche où les chercheurs tout comme les acteurs participent au processus de construction de la recherche mais également à l'expérimentation. Le protocole d'expérience dont nous relatons ici les éléments structurants a fait l'objet d'interactions régulières avec les acteurs ressources présents sur le terrain, a été validé et relayé par eux.

de quelle manière ces derniers influencent non seulement leur comportement (c'est-à-dire leurs pratiques de gestion) mais aussi leurs normes d'action (c'est-à-dire l'appropriation et la défense de nouveaux systèmes de valeurs). Si nous avons pu observer que les mécanismes individuels et collectifs d'apprentissage interfèrent, les résultats sont particulièrement probants dans le cas des dynamiques d'apprentissage collectif. Il apparaît en effet que l'existence d'une identité commune, de laquelle peut se réclamer un collectif de propriétaires forestiers, constitue un terreau fertile favorisant la diffusion et l'intégration de valeurs et normes d'actions en faveur de la biodiversité. Plus largement, cette identité commune s'ancre et trouve à se renforcer à travers des normes sociétales, territoriales. L'essence du changement de pratique ne tient pas tant à l'existence d'un simple collectif d'acteurs mais relève davantage de référentiels d'acteurs territorialement ancrés. **La prégnance d'un « effet territoire » apparaît comme essentielle à la diffusion de normes et de valeurs favorables à l'adoption de nouvelles pratiques.** Cette conclusion s'apparente aux résultats de recherche de Coudel *et al.* (2008) sur l'apprentissage en triple boucle caractéristique des processus de gouvernance locale.

En clair, la constitution d'une équipe locale de forestiers qui se retrouve pour des actions communes, quelles qu'elles soient, favorise l'évolution des connaissances techniques, mais aussi de la perception, de la sensibilité au sujet de société qu'est la conservation de la biodiversité. Lorsque les acteurs n'ont pas l'occasion de telles retrouvailles sur un projet partagé, qui peut être de formation ou de découverte, la mémorisation des idées nouvelles, même portées par des faits marquants et connus de chacun, n'est pas constatée.

Conclusions - Perspectives

Nous avons exploré sur le plan théorique la question de l'incidence des déterminants sociaux et institutionnels sur les modalités de gestion durable des ressources naturelles. Ce propos s'est décliné sous la forme d'hypothèses de travail que nous avons affinées et illustrées dans le cadre de notre réflexion.

L'ensemble de ces hypothèses nous a permis d'identifier, d'analyser et d'expliciter plus spécifiquement l'importance de la qualité du lien social pour la concrétisation d'actions collectives favorables à une gestion forestière durable qui tienne compte des enjeux de conservation de la diversité biologique.

L'un de nos apports principaux tient dans l'élaboration d'une grille d'analyse mettant en relation les propriétés du lien social et du contexte institutionnel sur la durabilité et la résilience des systèmes forestiers.

Toutefois, pour éprouver ces derniers développements analytiques, il restera

à illustrer, à partir de quelques exemples, de quelle manière ces « institutions de propriété commune »[3] s'incarnent à travers des dispositifs territoriaux particuliers qui intègrent des principes de durabilité dans la gestion forestière (documents d'objectifs dans le cadre de la mise en œuvre du réseau Natura 2000, chartes forestières de territoires, dynamique collective en vue de l'éco-certification forestière…). Cette appréhension du lien entre dispositif institutionnel formalisé et résilience des systèmes socio-écologiques pourrait ainsi permettre de systématiser la grille de lecture analytique produite.

Acquis en termes de transfert

Les acquis en termes de transfert sont directement liés aux principaux résultats de notre travail. Les enseignements tirés des terrains étudiés devraient nous permettre de mieux cerner les représentations qu'ont les acteurs de la biodiversité en forêt et d'appréhender leurs pratiques de gestion. Ils amènent fondamentalement à interroger les fondements de l'action publique locale.

De l'appropriation locale des enjeux à la formalisation des pratiques : les acteurs entre représentations et actions

Des situations de gestion qui ne sont pas directement liées à la conservation de la biodiversité

On peut remarquer qu'aucune situation de gestion ou nébuleuse d'acteurs n'a été directement créée pour répondre à des enjeux de conservation de la biodiversité. Il existe cependant certaines situations de gestion autour d'enjeux qui font intervenir des moyens, qui, eux, influent sur la biodiversité. Mais les acteurs ne se concertent jamais directement sur la biodiversité ni sur les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir. Cela vient peut-être de la multiplicité des représentations individuelles de cette dernière. Il s'agit en effet d'une notion qui est appropriée de manière disparate par les acteurs : les représentants d'institutions comme le CRPF, l'ONF ou encore les Conservatoires déclinent de manière très précise l'éventail de définitions alors que nombre de propriétaires forestiers ne savent pas ce qu'est la biodiversité.

Des indicateurs locaux de biodiversité différemment appropriés

L'enjeu « mélange d'essences » est assez bien approprié par les propriétaires

3 – Terme relevant de la théorie des droits de propriété. Cette école tend à abandonner depuis le début des années 2000 la référence explicite à la notion de « propriété » et à privilégier celle de « gestion en commun » des ressources.

quel que soit le terrain d'étude considéré. En Auvergne, selon les termes du Vice-président de la Fédération de Chasse Régionale, les événements climatiques de 1982 et de 1999 auraient « *eu le mérite de faire ressentir qu'un peuplement uniforme était plus sensible (à la tempête) qu'un peuplement mélangé* ». Il convient toutefois de souligner que la réglementation en vigueur est contradictoire avec la promotion du mélange d'essences forestières[4]. « *Il faut au moins 1 ha d'une même essence pour bénéficier des subventions*. » (CRPF). Cette réglementation peut être dommageable notamment pour les petites propriétés forestières qui ne sont alors pas encouragées à diversifier les essences sur leurs parcelles. L'enjeu « bois mort » quant à lui est approprié de façon différente selon les territoires étudiés (représentation du « propre » et du « sale »). Sur ce plan, les logiques institutionnelles prévalent et les propriétaires ont tendance à respecter les conseils qui leur sont prodigués.

On note ainsi qu'une même population de propriétaires forestiers est capable de se représenter des indicateurs de biodiversité à différentes échelles spatiales. En effet, l'indicateur « mélange d'essences » est pertinent à l'échelle du massif alors que l'indicateur « bois mort » est souvent considéré à l'échelle de la parcelle. La communication, envers tout public, devrait en tenir compte pour promouvoir la biodiversité. Aussi, dans ce but, il paraît important de déterminer des indicateurs localement adaptés (ici, mélange d'essences et bois mort). Il faut ensuite repérer les objectifs des groupes à l'œuvre dont les actions ont un impact sur la biodiversité. Une connaissance des indicateurs de biodiversité locaux et des enjeux à l'œuvre permet de déterminer une politique de communication localement adaptée ainsi que le meilleur acteur pour la porter. Il s'agit de créer un événement, dans ses différentes composantes de réalité concrète, de message et de porteur de celui-ci, qui puisse être médiatisé, et constituer un fait marquant qui contribue à la mémorisation de concepts nouveaux.

Qualité du lien social, action collective et robustesse des systèmes écologiques et sociaux

Des liens sociaux qui dynamisent les actions collectives

Nous avions posé l'hypothèse des liens sociaux comme facilitateurs de l'action collective. De l'analyse des terrains d'étude, on peut conclure que les liens forts sont une condition nécessaire mais non suffisante à l'action collective. La présence d'un individu moteur reste capitale. Par ailleurs, la dynamique de

4 – Les textes évoqués ici sont ceux qui précisent les modalités de reconstitution des forêts après les tempêtes de 1999. Ils ont été perçus, par les acteurs de terrain, comme favorables au reboisement monospécifique de résineux, puisque les modalités de contrôle de la régénération naturelle faisaient courir un risque de remboursement des aides au bénéficiaire.

liens faibles caractérisée par des individus porteurs d'informations nouvelles, souvent extérieurs au territoire, joue sur la propension des acteurs locaux à adopter de nouvelles pratiques. Encore faut-il qu'il existe des relais locaux légitimement reconnus pour en faciliter la diffusion et le portage.

Est ainsi confirmé le rôle de l'animateur, qui doit d'une part obtenir une reconnaissance locale, où sa personnalité et le choix des contacts qu'il noue et de son programme de travail s'additionnent, et d'autre part faire appel à des porteurs de message externes, qui renforcent, complètent, enrichissent les manières de penser locales.

Les actions collectives n'ayant pas pour enjeu la biodiversité : une porte d'entrée pour une coordination future autour de cet objet ?

Toute action collective, qu'elle ait un impact direct ou non sur la préservation de la biodiversité, est à encourager. Les actions collectives qui n'ont pas d'impact direct sur la préservation de la biodiversité permettent en effet la mise en place d'un réseau. Les liens tissés entre les acteurs à cette occasion sont alors susceptibles d'être réactivés pour d'autres actions ayant trait plus spécifiquement à la biodiversité.

Apprentissage et évolution des pratiques de gestion forestière

L'ensemble des résultats de notre étude interroge fondamentalement l'action publique locale. S'il apparaît que les dynamiques d'actions collectives locales importent pour impulser des pratiques de durabilité intégrant des objectifs de conservation de la biodiversité, alors les conditions d'une telle atmosphère locale devraient être suscitées. En particulier, l'action pourrait être orientée autour des axes déclinés ci-après.

La communication et l'animation seraient profitables à l'émergence et à la stabilisation d'actions collectives pour la gestion des ressources

La communication, sur des sujets comme le lien entre bois mort et biodiversité par exemple et sur d'autres indicateurs de biodiversité locaux, apparaît comme un mot d'ordre quel que soit le terrain d'étude considéré. Il faut mobiliser tous les supports possibles pour diffuser ces informations auprès des propriétaires mais également auprès du grand public : bulletins d'information (via le CRPF ou l'ONF), réunions publiques organisées par le CRPF, panneaux d'information dans les bois… Nombre de ces supports existent déjà ou sont en passe

d'être utilisés mais gagneraient davantage à être adaptés aux besoins locaux[5]. Dans une zone proche d'une agglomération importante, où le nombre de propriétaires est tel qu'on ne peut pas tous les contacter individuellement et dans un contexte où les nouveaux propriétaires sont de plus en plus urbains, il faut songer à l'utilisation d'autres médias afin de toucher le plus grand nombre d'individus. Par ailleurs, la perspective de changement climatique amène à s'interroger sur la prise en compte d'éléments de prospective (évolution des essences par exemple) dans la gestion des ressources forestières.

Des modalités collectives d'apprentissage

Les apprentissages sont plus marqués dans un contexte collectif (avec création et appropriation de valeurs nouvelles), que dans un contexte purement individuel. La diffusion de l'apprentissage sera d'autant plus efficace que l'on met en œuvre des dispositifs qui favorisent l'émergence d'une culture locale de la « forêt bien gérée ». La capacité des groupes de propriétaires à faire évoluer leurs pratiques est d'autant plus importante qu'ils se sentent investis sur leur territoire c'est-à-dire contribuent à déterminer des choix d'aménagement et participent, plus largement, à sa gouvernance.

Des pratiques de gestion à développer : la certification a t-elle un impact réel sur la préservation de la biodiversité ?

Nous proposons ici non pas une recommandation générale mais une réflexion sur les systèmes de certification forestière : peut-on considérer que ces derniers puissent aider ou tout du moins influer sur la conservation de la biodiversité ? Nous nous sommes intéressés au système PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes*). Ce dernier est le plus répandu en Auvergne et est soutenu par l'ONF et le CRPF.

La certification est une procédure dont le but est de garantir aux utilisateurs et aux consommateurs que les produits ou les services dont ils sont acquéreurs sont conformes à une série de règles ou de normes fixées préalablement[6]. Ce besoin en bois certifié provient des secteurs de transformation de la filière bois et se répercute sur les propriétaires forestiers, qui, s'ils veulent vendre, se voient obligés d'adhérer à PEFC. Comme le dit clairement un propriétaire

5 – Dans un site comme celui du Mont Bar par exemple, le besoin de communication va de pair avec un besoin d'animation ciblée auprès des propriétaires et du grand public (courriers personnels aux propriétaires ou diffusion via la mairie ; panneaux d'information destinés au grand public). Il faut de plus, et ce site l'illustre bien, insister, pour le sujet bois mort, sur l'absence de contradiction entre conservation de la biodiversité et valorisation énergétique.

6 – http://www.pefc-france.org/certification.asp?art=1575

rencontré : « *PEFC : personne n'y croit mais tout le monde adhère parce qu'on est obligé. Les gens adhèrent parce qu'ils veulent vendre* ». Les propriétaires n'ont aucune compensation économique en adhérant à PEFC mais ils ont accès à un marché de bois certifié. Les 19 engagements volontaires de gestion durable « *n'ont rien de révolutionnant. Il faudrait faire bien plus mais malgré tout, c'est un petit plus par rapport à la gestion actuelle* » (PNR du Livradois Forez). Ces engagements relèvent souvent du bon sens mais ils ont le mérite d'être spécifiés dans les clauses du contrat : le propriétaire qui adhère à PEFC par obligation en prend au moins connaissance. Cela l'aura fait réfléchir et prendre conscience qu'une forêt se gère et qu'il y a d'autres aspects que la production de bois. Pour la question de la conservation de la biodiversité qui nous occupe dans ce rapport, il semble que PEFC puisse être un bon vecteur d'information auprès des propriétaires.

Au-delà de ces diverses recommandations, notre travail tend à confirmer l'importance de l'apport des sciences sociales pour entreprendre un travail analytique fin visant à expliciter ce qui motive les actions des propriétaires forestiers, favorise l'évolution de leurs pratiques de gestion dans le sens d'un meilleur respect de la biodiversité et facilite l'aide à la décision publique.

Liste des principales valorisations de recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Angeon V., Caron A., 2009. Quel rôle de la proximité dans l'émergence et l'adoption de modes de gestion durable des ressources naturelles ?, *Natures Sciences Sociétés*, (à paraître).

Azoulay D., Angeon V., Bouchaud M., Caron A., Macombe C., Taverne M.. Actions collectives, gestion forestière et biodiversité : l'exemple de deux territoires auvergnats, *Revue Française Forestière* (en révision).

Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation

Présentation du programme de recherche dans une lettre d'information électronique consultée par les acteurs du monde forestier.

Participations à des colloques nationaux ou internationaux

Communications orales

Angeon V., Caron A., 2006. Action collective et gestion des ressources naturelles forestières. Une analyse en termes de coordination d'acteurs. Communication orale, *Fifth Proximity Congress*. Bordeaux, GRES (Groupement de Recherches Économiques et Sociales - Economic and Social Research Unit) - Université de Bordeaux 4, 28 - 30 June 2006.

Angeon V., Caron A., 2007. Collective action and forest resources sustainable management. Communication orale, Colloque *Recreating and valuing territories*, 13th APDR Meeting (Portuguese speaking countries meeting for regional science). Angra do Heroismo (Azores), University of Azores, 5-7 july 2007.

Angeon V., Caron A., 2007. En quoi les modes de gestion collective des ressources forestières favorisent-ils la préservation de la biodiversité ? L'exemple de deux territoires auvergnats. Communication orale, *Les dynamiques territoriales : débats et enjeux des différentes approches disciplinaires*, XLIIIe Colloque de l'ASRDLF (Association de Science Régionale de Langue Française). Grenoble et Chambéry, ASRDLF (Association de Science Régionale de Langue Française), 11-13 juillet 2007.

Angeon V., Caron A., 2007. How to manage forest resources regarding biodiversity ? The consistency of a collective response. Communication orale, Joint Congress of the European Regional Science Association (47th Congress) and ASRDLF (Association de Science Régionale de Langue Française, 44th Congress). Paris, ERSA-ASRDLF, August 29th - September 2nd 2007.

Angeon V., Caron A., 2008. Le rôle de la proximité dans l'émergence et l'adoption de pratiques de gestion durable de la forêt : l'exemple de deux territoires forestiers auvergnats. Communication orale, Colloque International *La problématique du développement durable vingt ans après : nouvelles lectures théoriques, innovations méthodologiques et domaines d'extension*. Lille, CLERSE, 20-22 novembre 2008.

Azoulay D., Angeon V., Bouchaud M., Caron A., Macombe C., Taverne M., 2006. Action collective et biodiversité : l'exemple de deux territoires forestiers auvergnats. Communication orale, Colloque *Biodiversité, Espaces et Sociétés*. Montpellier, CNRS, 7-8 décembre 2006.

Azoulay D., Angeon V., Bouchaud M., Caron A., Macombe C., Taverne M., 2007. Coordination des acteurs et intégration des enjeux de conservation de la biodiversité : le cas d'une forêt périurbaine française. Communication orale, Colloque *Gouvernance des territoires périurbains*, LXXVe colloque de l'ACFAS (Association francophone pour le Savoir). Québec (Canada), ACFAS, 7-11 mai 2007.

Bouchaud M., 2008. Prise en compte de la biodiversité dans les pratiques de gestion des propriétaires forestiers privés. *In* Synergie, *Compte-rendu du colloque Perception* sur la gestion forestière intégrée. Saint-Anthème (France), Synergie, 31 janvier et 1er février 2008 : 27-31.

Posters

Bouchaud M., Macombe C., Choquet C, Niveleau X, 2008. Learning the sustainable management of forests ? The Massif Central (France) case. ICAS International scientific conference *Sustainable forest management in a changing environment*. Bucharest, Romania, ICAS, 23-25 October 2008.

Rapports de fin d'étude

Azoulay D., 2006. *Biodiversité forestière : peut-on la gérer de manière collective ? Deux études de cas auvergnates*. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, spécialisation « Génie de l'environnement ». Rennes, ENSAR, 59 pages + annexes.

Choquet C., 2008. *Simulations des jeux d'acteurs : comment favoriser une démarche d'action concertée en faveur de la biodiversité forestière*. Mémoire de Diplôme d'agronomie approfondie Systèmes de production environnement et territoires. Toulouse, INP-ENSAT (Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse), 53 pages + annexes.

Gross H., 2007. *Les actions collectives liées aux forêts privées : quelle place pour la biodiversité ? Le cas de la Montagne Thiernoise et de la Châtaigneraie Cévenole*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENSAT, Option « Qualité de l'environnement et gestion des ressources ». Toulouse, ENSAT, 64 pages + annexes.

Niveleau X., 2008. *Quelle place pour la forêt au sein du paysage ? Le cas de la montagne Thiernoise, un territoire rural en mutation*. Rapport de Master en sciences de la vie et de l'environnement « Espaces ruraux et péri-urbanisation ». Rennes, Université de Rennes I, 47 pages + annexes.

Planchet L., 2007. *Actions collectives en forêt privée : la biodiversité est-elle gérée ?* Deux études de cas en Massif central. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENSAR, spécialisation « Génie de l'environnement ». Rennes, ENSAR, 60 pages + annexes

Vicard E., 2007. *Évaluation des apprentissages des propriétaires forestiers à une gestion durable de la forêt. Elaboration d'une méthode*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENSAT. Toulouse, ENSAT, 52 pages + annexes.

Expertises

Participation de Yves Poss et Catherine Macombe au symposium de préparation du programme de recherche européen sur la forêt et la filière bois qui s'est tenu à Lahti (Finlande) les 22 et 23 novembre 2006 (« Speed-up innovations forest-based sector technology platform in action »).

Participation de Yves Poss au groupe d'ingénieurs généraux réunis autour de Jean-Marie Ballu pour préparer le rapport commandé par le Président de la République à M. Jean Puech, ancien ministre.

Enseignements

Néant à ce jour. Toutefois le montage de sessions de formation initiale et continue est envisagé.

Bibliographie

Bromley D., 1992. *Making the Commons Work, Theory, Practice and Policy*. San Francisco, ICS, 339 p.

Coudel E., Rey-Valette H., Tonneau J.-P., Chia E., 2008. Analyse a posteriori d'une université paysanne au Brésil : quels éléments pour l'insertion territoriale des acteurs ? Communication orale, *XLV*e *colloque de l'ASRDLF*. Rimouski, ASRDLF, 25-27 août 2008.

Girin J., 1990. L'analyse empirique des situations de gestion : éléments de théorie et de méthode ». In Martinet Alain-Charles (eds.), *Epistémologie et Sciences de gestion*. Paris, Economica, 141-182.

Ostrom E., 1990. *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge, Cambridge University Press, 280 p.

Ostrom E., 2000. *Private and Common Property Rights*. *In* l'Encyclopédie de Gand : http://www.allserv.rug.ac.be/~gdegeest/

Schlager E., Ostrom E., 1992. *Property Rights Regimes and Natural Resources : A Conceptual Analysis*. Land economics, 68 (3) : 249-262.

Woolcock M., Narayan D., 2000. *Social capital : implication for development theory, research and policy*. The World Bank Research Observer, 15 : 225-249.

Recherche des voies, conditions et moyens d'une prise en charge renforcée des enjeux de la biodiversité par les propriétaires et les gestionnaires forestiers

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : 16 décembre 2005
Montant du budget : financement BGF (124 330 € TTC), pour un budget total de 197 562 € TTC
Cofinancements obtenus : néant

Coordinateurs
Alain Bailly et Hervé Brédif, avec Francis de Morogues et Marc Valenzisi
Institut Technologique FCBA
10, avenue de Saint-Mandé 75012 Paris
Email : alain.bailly@fcba.fr

Autres participants au projet
Paul Arnould et Corina Calugaru (ENS LSH Lyon), Philippe Allée et François Didolot (Université de Limoges), Olivier Nougarède et Michel Dupuy (INRA)

Mots-clés : relation des propriétaires et gestionnaires forestiers à la diversité du vivant, processus multiacteurs et multi échelles, territoires, forêts de production, prise en charge active

Objectifs des recherches

Le projet se propose de contribuer à approfondir les points suivants.

1– Combler le déficit de connaissances quant à la manière dont propriétaires et gestionnaires forestiers, dans des territoires précis, perçoivent la notion de biodiversité, les aspects, problèmes et enjeux auxquels elle renvoie selon eux, leurs dispositions actuelles pour agir en sa faveur ; en somme : mieux cerner la relation qu'entretiennent ces acteurs et les autres acteurs du territoire avec la biodiversité.

2– Identifier les difficultés, les blocages et les freins pour une prise en charge renforcée de la biodiversité à partir des analyses conduites dans les territoires.

3– Enrichir la réflexion sur les outils, les politiques publiques et les stratégies visant à assurer une meilleure gestion de la biodiversité.

Présentation des travaux

Introduction

Érigée depuis le sommet de la Terre de 1992 au rang de préoccupation environnementale majeure à l'échelle de la planète, la biodiversité donne lieu à des efforts de recherche considérables. Ceux-ci ont tout d'abord permis de mieux cerner le phénomène d'érosion de la diversité du vivant, dans son ampleur, ses caractéristiques et ses origines. Avec le Millennium Ecosystem Assessment[1], les recherches s'emploient désormais à montrer combien la biodiversité s'avère utile aux sociétés humaines, via les nombreux biens et services qu'elle fournit, au point d'être présentée comme une assurance-vie irremplaçable ; cette orientation générale se double d'une tentative d'évaluation monétaire des biens et services rendus par la biodiversité à la collectivité, comme en témoigne par exemple le rapport établi dernièrement sous la présidence de Bernard Chevassus-au-Louis (Chevassus-au-Louis *et al.*, 2009). En somme, ces travaux privilégient nettement la dimension « objective du problème » ; ils ont toutefois pour revers une méconnaissance générale des acteurs de terrain, dans la relation que ceux-ci nouent avec les différentes formes de biodiversité. Les acteurs de terrain sont-ils sensibles ou indifférents à la biodiversité et aux enjeux qui y sont liés ? Est-il envisageable de s'appuyer sur eux, compte tenu de leurs motivations actuelles ou potentielles, pour concevoir une réponse efficiente au problème posé ? Faute de poser ces questions et de chercher à y répondre vraiment, on privilégie avant tout des instruments censés infléchir de l'extérieur les mentalités et les comportements des acteurs de terrain : normes et injonctions diverses, éco-conditionnalité des aides, prix donné à la biodiversité, mécanismes incitatifs divers … la boîte à outil de l'économie standard est abondamment sollicitée.

Selon nous, ce déficit de connaissance des acteurs dans la relation qu'ils entretiennent effectivement avec la biodiversité s'avère extrêmement préjudiciable, au moment où plusieurs documents officiels, comme par exemple la *Straté-*

1 – http://www.millenniumassessment.org/fr/index.aspx

gie nationale pour la biodiversité adoptée en 2004 par le gouvernement français, soulignent que la gestion de la biodiversité nécessite une véritable mobilisation générale. En effet, il ne suffit pas d'invoquer les enjeux planétaires de la biodiversité, son caractère de patrimoine commun de l'humanité pour que les acteurs de terrain s'engagent durablement à son sujet. Cela demeure tout particulièrement vrai dans le secteur forestier où l'intérêt à court et moyen terme pour les propriétaires et les gestionnaires forestiers à réaliser des efforts supplémentaires pour la collectivité est tout sauf évident. Aussi nous paraît-il indispensable de chercher à mieux identifier ce que représente la biodiversité pour les propriétaires et les gestionnaires forestiers, à quelles conditions et selon quelles voies, socioéconomiques, organisationnelles et participatives, ils seraient prêts à reconsidérer leur implication vis-à-vis de la prise en charge de la biodiversité et des enjeux qui y sont liés.

Matériels et méthodes

Méthodes

La recherche effectuée ne relève pas d'un cadre théorique et disciplinaire déjà défini, dont elle constituerait un exercice appliqué. Cependant, plusieurs sources conceptuelles et différents champs disciplinaires inspirent nos travaux. Pour les plus spécifiques, nous citons notamment les suivants :

- Sur un plan général tout d'abord, elle s'appuie très largement sur l'expertise des acteurs concernés par la problématique retenue. Pas moins de 120 entretiens semi-directifs approfondis d'acteurs locaux ont été réalisés par les différents membres de l'équipe ; des réunions de discussion/validation ont été organisées dans certains territoires en présence des acteurs auditionnés ; une quinzaine d'entretiens a également été conduite auprès de responsables nationaux experts de la problématique de la biodiversité. Les porteurs d'enjeux sont donc bien associés à la recherche, ce qui en fait une recherche de mode 2, telle que l'ont théorisée Nowotny *et al.*, (2003).

- De manière plus précise, nous considérons, à la suite des observations cliniques et des résultats obtenus par les praticiens de l'École de Palo Alto (Bateson, 1977 ; Watzlawick *et al.*, 1981), ainsi que par la sociologie des organisations de Crozier et Friedberg (1977), que la question posée s'avère trop complexe pour que les approches classiques de type problème/solution (problem solving) donnent de bons résultats. Aussi serons-nous tout particulièrement attentifs aux interactions entre acteurs et à la possibilité d'organiser des publics (Dewey, 2003) ; les grilles de

lecture et les enseignements pratiques de spécialistes de la négociation (Ury *et al.*, 2003 ; de Bono, 2007) ont également été mis à profit.

- Les travaux d'Olivier Godard (1993) relatifs à la gestion collective des problèmes en univers controversé, commentés et adaptés à la problématique de la biodiversité par Franck-Dominique Vivien (Aubertin et Vivien, 1998) stimuleront notre réflexion.

- Le mouvement actuel en faveur de la biodiversité se concentre sur les aspects utilitaires de celle-ci. À la suite de différents chercheurs et praticiens, parmi lesquels Joan Tronto (2009) (éthique du care), Henry Ollagnon (2003) (notion de patrimoine), nous pensons, de même que le sociologue André Micoud (2005), que les dimensions culturelles et identitaires constituent de puissants leviers de changement, individuels et collectifs. Là encore, une attention spéciale sera accordée à cet aspect.

Ces considérations se trouvent à l'origine de notre démarche de recherche, conçue elle-même comme un processus complexe, multi-acteurs et multi-échelles, alternant études de cas concrètes, dans des territoires définis, avec des analyses plus théoriques et plus générales. En confrontant ces différentes sources d'analyse, des convergences et des discordances se font jour, sur la base desquelles se fondent nos conclusions générales.

Sites et études de cas

Les sites retenus – Médoc dans le massif Aquitain, plateau de Millevaches dans la région Limousin, P.N.R du Morvan – privilégient des forêts à vocation de production affirmée, aux anciennetés contrastées, dominées par des résineux couvrant une large partie du spectre des essences indigènes (pin maritime, pin sylvestre, sapin, épicéa) et introduite (douglas), mais associées à des feuillus. Il s'agit d'un choix effectué à dessein. Les espaces considérés représentent en effet un patrimoine forestier de grande ampleur spatiale, appartenant principalement à des propriétaires privés très diversifiés et où les enjeux de la biodiversité méritent d'autant plus d'être évalués qu'ils ne sont pas manifestes. Il s'agit aussi d'interroger les relations entre ces forêts et les entités territoriales plus larges dans lesquelles elles s'inscrivent et dont elles influencent, peu ou prou, la biodiversité globale.

Résultats et discussion

La présentation des résultats reprend l'ordre et la teneur des trois objectifs présentés ci-dessus.

Sur la relation des acteurs de terrain à la biodiversité, spécialement des propriétaires et gestionnaires forestiers

Le terme même de biodiversité ne renvoie à aucune acception précise chez la grande majorité des acteurs locaux ; plus souvent encore, il génère l'embarras et l'incompréhension. Pour les responsables forestiers et les institutionnels, la notion, bien que connue et située, ne génère pas l'enthousiasme : on lui reproche son caractère peu opérationnel, le fait surtout qu'elle véhicule une image peu engageante, un reproche plus ou moins masqué, une nouvelle contrainte à venir : « *avec ce mot, on se sent immédiatement sous tension* ».

Faute de pouvoir aborder la question de front, nous avons donc tenté de l'envisager de manière latérale, en faisant parler l'interlocuteur de (ses) forêts, des aspects auxquels il est attaché, du territoire dans lequel elles s'insèrent. Ce faisant, son *paysage sensible* se révèle progressivement, chaque personne évoquant des aspects, des êtres de faune et de flore, des figures du vivant et des qualités spécifiques. Approfondi dans les cantons d'Eymoutiers et de Sornac, ce travail d'inventaire fin suggère que **certains acteurs, forestiers dans l'âme, se montrent avant tout attentifs aux essences forestières et à leur diversité, n'accordant que peu d'intérêt aux autres plantes et animaux**. D'autres acteurs en revanche considèrent plus généralement le territoire, se préoccupent de la diversité des paysages, des habitats, des milieux de vie, à moins qu'ils aient une attention particulière pour les organismes liés à l'eau.

Tous ces aspects demeurent visiblement du domaine de l'intime, ce qui ne signifie pas qu'ils demeurent sans conséquence dans la gestion forestière pratiquée. D'ailleurs, nombre d'interlocuteurs font part de leurs évolutions en la matière : plus grande attention aux vieux arbres ou aux arbres morts pour certains, diversification plus ou moins localisée en feuillus pour d'autres.

En d'autres termes, chaque personne s'avère bien sensible et attachée à certaines formes et figures du vivant, mais cela ne donne pas lieu à échange, discussion ou mise en commun entre acteurs du territoire. Cette absence d'échanges se trouve probablement renforcée par le fait qu'il n'existe apparemment pas de problème de biodiversité majeur dans les territoires considérés, comme ceux que peuvent évoquer les médias pour d'autres parties du monde. D'aucuns déplorent bien la moindre abondance de certaines espèces (truite, moule perlière, lièvre…), ou encore la fermeture des paysages, l'enrésinement excessif par endroits, la monotonie et l'absence de sous-bois dans bon nombre de plantations de douglas, mais cela ne suffit pas à remettre en question l'idée selon laquelle « *ici, la nature se porte bien, n'est pas fondamentalement menacée* ». De toute manière, estiment les acteurs rencontrés, nombre de propriétaires ne font rien de leurs forêts, qui évoluent spontanément, au même titre que les accrus forestiers.

Dans ces conditions, les choses semblent évoluer lentement, sous l'effet conjoint de la rhétorique ambiante et des événements climatiques qui, en particulier dans les Landes et le Limousin, ont fait progresser l'idée selon laquelle la robustesse des forêts de production allait de pair avec une certaine forme de diversité d'essences.

Lorsqu'ils considèrent le territoire dans son ensemble et non plus seulement la forêt, les acteurs, dans leur très grande majorité, se déclarent sensibles à la diversité sous toutes ses formes et pour différentes raisons (économiques, esthétiques…), que celle-ci se décline sous la forme d'habitats, de paysages, d'activités ou de valorisations du territoire. Tous ou presque insistent sur la nécessité de respecter certains équilibres, de ne pas dépasser certains seuils, de conserver des formes caractéristiques du territoire (tourbières du plateau de Millevaches, collines plantées de hêtres du Morvan, lagunes du Médoc), voire d'en recréer comme c'est le cas dans le Morvan avec les haies plessées. **Plus qu'à la biodiversité en tant que telle, les acteurs sont attachés à la diversité de leur territoire**, qui en constitue à la fois un signe de vitalité, un lien avec le passé et un trait distinctif à forte résonance identitaire.

Cependant, pour une grande majorité des interlocuteurs, ces aspects présentent un intérêt sinon marginal, en tout cas qu'il convient impérativement de relier à d'autres préoccupations et enjeux, économiques notamment. Pour la plupart des propriétaires et gestionnaires forestiers rencontrés, **l'objectif de production et de valorisation des bois demeure central** : « *c'est lui qui tient le système* ». Cela est tout particulièrement vrai pour le douglas, l'arbre merveilleux de la fin du XX^e^ siècle qui donne, aujourd'hui encore, une satisfaction économique incomparable ; le douglas s'apparente, *mutatis mutandis*, au pin maritime, considéré au XIX^e^ siècle comme l'arbre d'or du massif landais.

Voilà pour la situation actuelle, vécue comme étant peu problématique au regard de la diversité du vivant, même si certaines questions et certains problèmes plus ou moins ponctuels sont repérés. Néanmoins, pour l'avenir, un petit tiers des acteurs locaux, dans les trois territoires, ainsi que des responsables institutionnels font part d'inquiétudes, parfois vives. La réduction de l'âge des coupes de douglas, coupes rases conduites sur des surfaces significatives, interroge tout particulièrement. Plus généralement, on pressent que certaines évolutions des territoires et de la société – essor du bois énergie, désaffection des propriétaires pour leurs forêts, déclin de l'agriculture dans certains secteurs – ne seront pas sans conséquence sur les équilibres des territoires et leurs qualités au regard du vivant.

Sur les difficultés, freins et obstacles à une prise en charge renforcée de la biodiversité

L'analyse approfondie conduite dans les deux cantons du plateau de Millevaches indique à quel point les acteurs locaux se retrouvent démunis pour appréhender ces aspects. Quand ils n'ont pas de lien privilégié avec les organes de la filière forêt-bois-papier, ils sont souvent dans l'incapacité d'évoquer des actions conduites au nom de la biodiversité. Pour les autres, cela renvoie d'abord à Natura 2000, à « *des bestioles qui affolent certains esprits et certaines associations de protection de la nature* ». Il en résulte en Limousin et dans le Morvan **une image souvent négative de ce qui se fait au nom de la biodiversité** : entre contrainte imposée d'en haut et argent mis sur ce qui n'est pas vraiment considéré comme productif pour le territoire. La situation est différente pour le Médoc dans la mesure où, suite à la tempête, l'écoconditionnalité des aides s'est faite en douceur, les contraintes liées au reboisement (îlots de feuillus…) étant finalement bien acceptées puisqu'elles s'avèrent peu importantes et sont présentées comme également favorables à la stabilité des peuplements. Hormis le cas du Médoc, il est facile d'établir que la biodiversité extraordinaire capte de manière quasi-exclusive les deniers publics.

Pour le reste, ce que l'on pourrait nommer la « biodiversité ordinaire » suscite visiblement peu d'actions et de discours, à l'exception de certains opérateurs et acteurs convaincus. Il n'existe généralement pas de lieu où les différents acteurs concernés par les espaces forestiers et au-delà l'ensemble du territoire pourraient confronter leurs visions à ce sujet et s'accorder sur les enjeux afférents. Si certains responsables forestiers soulignent lors des entretiens l'importance des micro-organismes dans le sol, cela ne se traduit pas pour autant par des campagnes de préconisations spécifiques quant à la conduite des peuplements. Une nette différence se fait jour sur ce plan entre le douglas et le pin maritime : pour le second, un discours organisé existe et diffuse quant à l'intérêt des feuillus pour la résilience et la robustesse des plantations et du massif dans son ensemble ; pour le douglas en revanche, cela se vérifie d'autant moins que les références scientifiques en la matière sont introuvables. Cette observation appelle un constat de portée plus générale : **pour aucun des trois territoires dans lesquels nous sommes intervenus, les acteurs ne disposent d'un document simple et d'usage pratique inventoriant ce que recouvre concrètement la biodiversité dans le territoire considéré**, au moins en termes d'espèces et si possible d'habitats. En l'absence d'un tel référentiel, la biodiversité reste une réalité assez insaisissable pour les acteurs (« Autant essayer d'attraper de l'air… ! » selon la formule d'un propriétaire forestier), ce qui ne facilite certainement pas une appropriation du sujet.

Le développement des démarches de certification – d'après ceux qui les évoquent, en particulier les institutionnels de la filière et de l'administration - n'influence pas beaucoup l'évolution des choses. Cela tient au fait que ces démarches, selon les acteurs, ne donnent pas vraiment lieu à des contrôles sur le terrain. Au demeurant, les tensions et concurrences entre systèmes de certification (PEFC d'une part, FSC d'autre part) détournent l'attention et l'énergie des acteurs de sujets plus essentiels.

En dépit de l'existence de charte forestière de territoire (cas du Médoc), de PNR (Morvan et Millevaches plus récemment), les élus ne portent pas de projet global au regard de la biodiversité, et celle-ci ne donne pas lieu à un programme ou à une politique territoriale explicites. Même si le mille-feuille institutionnel (Morvan et Millevaches) ne facilite pas la tâche, il apparaît assez nettement que les préoccupations des élus et des territoires sont ailleurs.

Confrontation aux analyses globales

En confrontant les résultats précédents aux analyses globales conduites à la fois sur le message télévisuel délivré au sujet de la biodiversité, sur l'examen des approches et outils proposés par l'économie sur la biodiversité, ainsi qu'à partir de l'analyse d'un corpus bibliographique consacré à la biodiversité et la réalisation d'une série d'entretiens auprès d'acteurs nationaux experts du sujet de la biodiversité, il apparaît les points suivants.

Le sujet de la biodiversité donne lieu à un discours généralement très globalisant, qui stigmatise les préjudices portés à la nature, préjudices incarnés par la disparition ou la dégradation de grands biomes et des espèces emblématiques qui les accompagnent. Le message associé à ce constat est qu'il faut « préserver la biodiversité, la protéger ou la conserver ». Cette rhétorique lancinante, médiatisée autour d'espèces et de milieux singuliers, dessert probablement l'enjeu réel, validé par plusieurs écologues lors d'entretiens approfondis, qui n'est autre que de faire en sorte que chacun contribue à maintenir les conditions nécessaires à l'épanouissement de la diversité de la vie sur Terre. En fait, tout se passe comme si la notion de biodiversité était désormais associée à l'idée de milieux rares, menacés et localisés qu'il convient de soustraire à la perturbation humaine ; **dès lors, elle ne véhicule pas ou plus l'idée selon laquelle chacun, à son niveau, peut avoir un rôle à jouer ; elle s'y opposerait même plutôt**. À l'opposé, la notion de trame (trame verte, trame bleue), introduite par le Grenelle de l'Environnement, ouvre manifestement une perspective beaucoup plus favorable, à condition justement qu'elle reconnaisse le rôle que chacun peut jouer en faveur de la diversité du vivant et ne se limite pas à un plan conçu en haut lieu par quelques sachants.

La panoplie des outils censés enrayer l'érosion de la biodiversité privilégie la

connaissance et l'éducation/sensibilisation, la protection et l'interdiction d'un certain nombre de pratiques et d'accès à des espaces, enfin les outils économiques d'évaluation, de monétarisation et de compensation. En d'autres termes, tout se passe comme si, face aux menaces portant sur la biodiversité (résumées par E.O. Wilson (2003) sous l'acronyme HIPPO : H pour Habitat loss, I pour Introduced species, P pour Pollution, P pour Population growth, O pour Over-consumption)), on envisageait comme seuls leviers d'actions des *leviers exogènes* que l'on pourrait réunir sous l'acronyme CEMIC ou KEMIC (C pour connaître (la biodiversité elle-même, mais aussi les biens et services qu'elle assure), connaissance nécessaire à la prise de Conscience ; C remplacé par K, pour knowledge, en anglais) ; E pour Éducation, ce que l'on appelle aussi la sensibilisation ; M pour Monétarisation, soit la tentative de donner un prix ou une valeur à la biodiversité et à ce qu'elle recouvre, sans laquelle on pense qu'aucune réalité ne saurait être reconnue et prise en compte ; I pour Incitations ou « Incentives » en langue anglaise, recouvrant divers dispositifs juridiques ou économiques pour inciter les acteurs à changer leur comportement (la carotte et le bâton) ; C terminal pour Compenser, recouvrant différents mécanismes très en faveur et très débattus en rapport notamment avec la question du réchauffement planétaire et des gaz à effet de serre. Cette approche globale n'est pas à remettre en cause pour elle-même, mais pour son caractère exclusif, pour l'ignorance quasi-absolue des acteurs de terrain qu'elle pratique et aggrave. Ce qui revient à laisser entendre que les acteurs de terrain sont au mieux ignorants ou indifférents à l'égard des différentes manifestations de la vie, ou uniquement mus par des objectifs utilitaristes à court terme. Ce cadre global d'analyse est infirmé par les travaux conduits dans les territoires de notre projet, qui montrent suffisamment qu'il existe des leviers endogènes ou internes sur lesquels il est possible de s'appuyer. **Passer de la biodiversité imposée ou subie à la biodiversité voulue et assumée, de surcroît pas seulement pour des raisons utilitaires, voici le changement de paradigme auquel invitent les travaux conduits dans les territoires.** À cet égard, il convient de souligner que les entretiens avec plusieurs responsables nationaux et écologues de renom aboutissent pratiquement à la même idée : s'appuyer sur les acteurs locaux, les dimensions et les aspects auxquels ils s'avèrent sensibles pour les conduire petit à petit à devenir explicitement des co-gestionnaires du tissu vivant de leur territoire, de leur pays, de leur continent, de la biosphère.

Conclusions - Perspectives

La proposition de M. L. Rosenzweig (2003) d'une « écologie de la réconciliation » présuppose des « hommes fâchés avec la biodiversité », sabordant

inconsciemment ce qui s'avère pourtant de la plus haute importance pour leur propre pérennité sur Terre. Les propriétaires et gestionnaires forestiers que nous avons rencontrés – ainsi que d'autres acteurs des territoires où nous avons opéré -, s'avèrent tout au contraire sensibles et motivés par de nombreuses composantes du vivant auxquels ils consacrent déjà beaucoup d'énergie, de temps et de créativité. Pour des raisons utilitaires certes, mais également symboliques, identitaires et culturelles. Des marges assez considérables de progrès et d'implication existent chez ces acteurs, à condition qu'ils soient accompagnés, encouragés et soutenus pour le faire. **Cela permet d'espérer des politiques publiques en faveur de la biodiversité à la fois beaucoup moins lourdes et onéreuses, et surtout plus efficaces, dès lors qu'elles ne s'en remettent pas principalement à des instruments exogènes, mais s'appuient sur les acteurs de terrain, leurs attachements et leurs motivations.** Si écologie de la réconciliation il doit y avoir pour les forêts françaises de production, celle-ci serait donc probablement moins à envisager entre biodiversité et êtres humains qu'entre acteurs globaux, instigateurs de politiques et de stratégies publiques, et acteurs de terrain.

Acquis en termes de transfert

L'explicitation des relations des acteurs à la biodiversité est chose possible

Sur le plan des méthodes, l'un des acquis les plus immédiats de ce projet réside dans la mise au point d'une démarche pour expliciter la relation, toujours intime, qu'entretient un acteur avec la diversité du vivant d'un territoire forestier. Il est établi que le terme de biodiversité, en soi, ne constitue pas une bonne entrée en matière. Il convient d'aborder l'interlocuteur de façon latérale, en l'interrogeant sur son rapport aux forêts ou au territoire, sur les aspects qui retiennent son attention, les problèmes ou les enjeux qu'il repère. Chemin faisant, il abordera plus ou moins spontanément des questions qui permettront de préciser les figures, les formes et les qualités liées au vivant auxquelles il accorde le plus d'importance. À l'issue de l'entretien, il sera possible de reconstituer sa **carte sémantique et sensible au regard du vivant**.

La reproduction de cette méthode auprès d'une gamme variée d'interlocuteurs d'un territoire et la confrontation des cartes sémantiques et sensibles présente plusieurs avantages. Cela met tout d'abord en lumière les différences et les convergences entre acteurs. Les figures du vivant (espèces, habitats, types de paysages…) qui reviennent régulièrement s'apparentent au patrimoine commun des acteurs

d'un territoire : elles incarnent le territoire aux yeux des acteurs eux-mêmes, et constituent un point d'ancrage privilégié pour développer le lien au vivant de ces personnes. Au demeurant, cela permet de définir le panorama de l'ensemble des aspects et figures du vivant qui concernent les acteurs d'un territoire et sont susceptibles d'être pris en charge de manière active par ces derniers.

Le travail effectué sur le plateau de Millevaches montre qu'il convient de réaliser des entretiens approfondis auprès d'au moins 20 à 25 acteurs représentatifs et stratégiques à l'échelle d'un territoire de la taille d'un canton pour disposer d'un panorama déjà bien informatif des relations que noue une population avec la diversité du vivant de son territoire. Ces chiffres valent cependant pour des territoires ruraux peu peuplés, tels que ceux que nous avons retenus dans ce projet, dans la mesure où ils permettent a priori de rencontrer les grands types d'acteurs du territoire. Pour des territoires plus peuplés, présentant des types cognitifs et sociaux plus diversifiés, ces chiffres devraient sans doute être revus à la hausse.

Une activation de la prise en charge de la biodiversité est à portée de main

Il a été établi dans les territoires où nous sommes intervenus que propriétaires et gestionnaires forestiers étaient attachés, bien qu'à des degrés variables, à certains aspects et figures du vivant, au point de s'en occuper et de veiller activement à leur pérennité. D'aucuns sont même d'ores et déjà très engagés dans ce domaine, dans les limites de leurs propriétés cependant. Il convient donc de se garder d'approches globalisantes au regard de la biodiversité qui mettraient tous les acteurs forestiers dans le même sac et réputeraient ces derniers comme étant peu sensibles au sujet, du fait qu'ils se trouvent dans des espaces géographiques où la production de bois paraît dominante.

L'une des premières limitations apparues pour une prise en charge renforcée de la biodiversité dans les études de cas tient à **l'absence de référentiel « objectif » de ce que recouvre la biodiversité** (espèces, habitats ou milieux en particulier) **de ces territoires**. Les acteurs de terrain ne disposent pas d'un tel tableau de bord qui leur permettrait de mieux savoir à quoi ils ont affaire, où se situent les originalités éventuelles de leurs forêts et de leur territoire ; autant de connaissances qui font actuellement défaut et laissent les acteurs face à une injonction globale de biodiversité qui les culpabilise plus qu'elle ne les responsabilise.

Ce constat plaide en faveur du lancement d'**ateliers territoriaux** autour de la biodiversité, l'idée étant de réunir une pluralité d'acteurs d'un territoire en leur proposant de définir eux-mêmes une stratégie et une politique susceptibles de

favoriser un épanouissement de la diversité du vivant pour leur territoire et le reste du monde. Avec l'aide d'un facilitateur extérieur, quinze à vingt acteurs motivés par le sujet seraient invités à :

- Expliciter les dimensions, figures et entités du vivant auxquels ils sont le plus attachés, en insistant sur ceux qui leur paraissent les plus décisifs pour l'identité et l'avenir de leur territoire. Il s'agirait également de repérer les principaux problèmes et les menaces éventuelles qui existent dans ce domaine. Chaque participant exposerait son point de vue, des échanges auraient lieu, une mise en commun des réflexions serait réalisée par le facilitateur pour aboutir à une discussion/validation finale consignée dans un premier document.

- En parallèle, il conviendrait de demander à des experts de réaliser une sorte de tableau de bord ou de référentiel objectif de la biodiversité dont il est question plus haut, à l'échelle du même espace considéré.

- Une confrontation entre les productions des deux groupes précédents serait organisée, suivi d'un processus de discussion/consolidation : cela permettrait d'aboutir à mieux cerner les enjeux de la biodiversité d'un territoire (y compris les incertitudes inhérentes aux savoirs scientifiques parcellaires), en s'assurant qu'ils sont effectivement partagés et portés par des habitants de ceux-ci.

- Il s'agirait ensuite de définir plus précisément les conditions et les moyens nécessaires au pilotage de ces enjeux dans le temps, sous la forme d'un exercice libre où les acteurs, aidés d'experts, auraient à définir des moyens réalistes et adaptés à la dynamique de leur territoire pour que ce dernier contribue efficacement à une bonne gestion de la qualité du vivant planétaire. Un travail d'évaluation/modélisation des coûts théoriques induits, tant pour les propriétaires et gestionnaires forestiers que pour la collectivité dans son ensemble éclairerait le débat.

Il conviendrait d'ouvrir simultanément trois à quatre ateliers de ce type. Il est important que les territoires retenus comportent une part significative de sylves, mais ne soient pas non plus que forestiers. Ce type d'exercice contribuerait à changer considérablement le regard porté sur la biodiversité et ses enjeux, en particulier par les forestiers. Cela permettrait d'amorcer une réponse territoriale à la biodiversité, en changeant totalement la perspective descendante dans laquelle on se situe souvent de manière exclusive. Cela permettrait surtout de mieux préciser comment certains objectifs nationaux ou internationaux en matière de préservation de la biodiversité peuvent être atteints, moyennant quels

ajustements concrets, quels coûts et quels contrats. Un chiffrage des modalités identifiées par les acteurs des territoires aidés des experts serait facile à envisager ; cela apporterait des éléments nouveaux pour la définition de stratégies et de politiques globales dans ces domaines.

Des questions pour la recherche à explorer plus avant

Pour la recherche forestière tout d'abord. Les plantations de douglas, plus que celles de pin maritime, posent un double problème, sur lequel il serait souhaitable d'avoir des réponses plus nettes. En premier lieu y a-t-il ou non des risques à avoir de grandes étendues monospécifiques de douglas sur un même espace ? Cette question récurrente demeure, selon une partie significative des acteurs rencontrés, insuffisamment éclairée par la recherche ; le contraste est grand avec le pin maritime des Landes où la question de la résilience du massif forestier face aux intempéries et aux aléas paraît beaucoup plus étudiée. Par ailleurs, de nombreux acteurs considèrent visiblement que la conduite actuelle des plantations de douglas, avec de grandes coupes rases toujours plus précoces, n'est pas pleinement satisfaisante : un autre modèle peut-il être envisagé ?

Pour l'économie de la biodiversité ensuite. Les travaux effectués dans le cadre de ce projet sur les approches et outils de l'économie vis-à-vis de la biodiversité montrent que beaucoup de questions demeurent sans réponse sur la sensibilité des acteurs de terrain, en particulier, les propriétaires forestiers, à d'éventuelles incitations financières. Il conviendrait sans doute, par des recherches inspirées de la neuroéconomie notamment (Camerer *et al.*, 2005) de jeter une lumière plus vive sur ces considérations.

Les forestiers en posture globalement favorable pour parler de biodiversité

Au terme de ce travail, nous pensons pouvoir dire que les forêts de production, même quand il s'agit de plantations de résineux, ne sont finalement pas si mal placées que cela au regard de l'interpellation générale de la biodiversité. Pour les acteurs forestiers, une forêt ne se réduit pas à un simple espace de production ; dès lors, le chemin ne paraît pas si considérable pour que les propriétaires et les gestionnaires forestiers français soient considérés par l'ensemble de la société comme de bons gestionnaires du vivant planétaire.

Liste des principales valorisations de recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Brédif H., Bailly A., 2009. Les propriétaires et gestionnaires forestiers face aux enjeux de la biodiversité. *Forêt Wallonne*, 102 : 45-54.

Dupuy M. La biodiversité à la télévision française, (soumis à la revue *Natures Sciences Sociétés*).

Arnould P., Calugaru C. Morvan, douglas, biodiversité (soumis à *Bourgogne Nature*, revue scientifique du PNR du Morvan).

Participations à des colloques nationaux ou internationaux

Arnould P., Calugaru C, 2008. Morvan, Douglas, biodiversité. Communication orale lors des *Entretiens de Bibracte*. Bibracte, Parc naturel régional du Morvan-Centre archéologique européen de Bibracte, 18 septembre 2008.

Brédif H., 2008. Bridging the gap between global and local actors. Teachings of case studies about biodiversity issues. Communication orale au *Symposium Governing shared resources : connecting local experience to global challenges, 12th Biennal Conference of the International Association for the Study of Commons (IASCP)*. Cheltelham, 14-18 juillet 2008.

Brédif H., 2009, Le contrat, clé de voûte d'une cosmopolitique humaniste. Communication au *Colloque transdisciplinaire La gouvernance à l'épreuve des enjeux environnementaux et des exigences démocratiques*. Ottawa (Canada), Université d'Ottawa, 14 - 15 mai 2009.

Dupuy M., 2008. La biodiversité : un thème qui peine à émerger à la télévision. Communication orale au *Colloque Biodiversité, naturalité et Humanité*. Chambéry, WWF, 27-31 octobre 2008.

Autres valorisations

Arnould P., 2007 (participation). L'agriculture dans la biodiversité : histoire d'espèces et d'espaces, film de *Télépromotion rurale Rhônes-Alpes et FR 3*.

Kahn S., Brédif H., 2009 (participation). Émission de radio *Planète Terre* sur France Culture animé par Sylvain Kahn, le 9 septembre 2009.

Bibliographie

Aubertin C., Vivien F.-D., 1998. *Les Enjeux de la Biodiversité*, Paris, Economica, 112 p.

Bateson G., 1984 [1977]. *La nature et la pensée*, Paris, Seuil, 243 p.

Camerer C., Loewenstein G., Prelec D., 2005. Neuroeconomics : How Neurocience Can Inform Economics. *Journal of Economic Literature*, 43 : 9-61.

Chevassus-au-Louis B., Salles J.-M., Bielsa S., Richard D., Martin G., Pujol J.-L., 2009. *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique*. Centre d'analyse stratégique, Premier Ministre de la République française, Paris, 376 p.

Crozier M., Friedberg E., 1977. *L'acteur et le système*. Paris, Seuil, 500 p.

De Bono E., 2007. *Conflits. Comment les résoudre*. Paris, Eyrolles, 277 p.

Dewey J., 2003 [1984]. *Le Public et ses problèmes*. Pau, Publications de l'Université de Pau, 207 p.

Godard O., 1993. Stratégies industrielles et conventions d'environnement : de l'univers stabilisé aux univers controversés. *INSEE Méthodes : Environnement, économie*, 39-40 :145-174.

Micoud A., 2005. Comment, en sociologue, tenter de rendre compte de l'émergence du thème de la biodiversité. In Marty P., Vivien F.-D., Lepart J., Larrère R. *Les Biodiversités : objets, théories, pratiques*. Paris, CNRS Editions, 57-66.

Nowotny H., Scott P., Gibbons M., 2003. *Rethinking Science, Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty*. Cambridge, Polity Press, 288 p.

Ollagnon H., 2003. Stratégies pour une gestion patrimoniale de la biodiversité. B*ulletin de l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique,* Biologie, 73, supplément, 29-36.

Rosenzweig M. L., 2003. *Win-Win Ecology, How the Earth's Species Can Survive in the Midst of Human Enterprise*. Oxford, Oxford University Press, 224 p.

Tronto J., 2009 [1993]. *Un monde vulnérable. Pour une politique du care*. Paris, La Découverte, 239 p.

Ury W., Fisher R., Patton B., 2003. *Comment réussir une négociation*. Paris, Seuil, 270 p.

Watzlawick P., Weakland J. H., Fisch R., 1981. *Changements. Paradoxes et psychothérapie*. Paris, Seuil, 189 p.

Wilson E. O., 2003. *The future of life*. London, Little Brown, 256 p.

Influence de l'intensité d'exploitation et du degré d'ouverture de la canopée en forêt tropicale humide sur le maintien et la dynamique de la biodiversité

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 1 janvier 2006
Montant du budget : 65 020 €
Cofinancements obtenus : 2003–2007 Project NSF–USA. « Defining functional groups of French Guianan trees using phylogenetically-independent contrasts » (C. Baraloto, D. Bonal, INRA-Kourou). US$ 104,700.

Coordinateur

Christopher Baraloto, Chargé de Recherche INRA
Unité Mixte de Recherche Ecofog « Ecologie des forêts de Guyane » (CNRS, Cirad, Engref, INRA)
BP 709, 97387 Kourou Cedex
Email : chris.baraloto@ecofog.gf

Autres participants au projet

INRA, Unité Mixte de Recherche « Ecologie des forêts de Guyane » (Ecofog) Cnrs, Cirad, Engref, Inra Kourou

CIRAD, Département Forêt, Unité Mixte de Recherche « Ecologie des forêts de Guyane » (Ecofog) Cnrs, Cirad, Engref, Inra

CIRAD, Département Amis, Unité Mixte de Recherche, UMR Cirad-Cnrs (5120)-Ephe-Inra(931)-Ird(123)-Univ. Montpellier 2, « botAnique et bioinforMatique de l'Architecture des Plantes (AMAP) », TA40/PS2

IRD, Unité Mixte de Recherche, UMR Cirad-Cnrs (5120)-Ephe-Inra(931)-Ird(123)-Univ. Montpellier 2, « botAnique et bioinforMatique de l'Architecture des Plantes (AMAP) », TA40/PS2

ONF, Délégation régionale de Guyane, Pôle technique

Mots-clés : exploitation forestière, REDD, gestion durable, richesse spécifique, diversité génétique, traits fonctionnels, forêt tropicale humide, Paracou, Guyane française

Objectifs des recherches

L'Office National des Forêts (ONF), gestionnaire de l'essentiel du patrimoine forestier guyanais a pour mission de veiller à sa conservation et à son « bon usage » dans un cadre multifonctionnel. En termes d'exploitation, l'ONF a retenu l'option de recourir prioritairement à « une sylviculture extensive en forêt naturelle permettant le maintien d'une structure forestière très proche de celle des forêts primaires, une faible perturbation du couvert forestier (trouées d'exploitation de faible importance) et également la conservation d'un haut niveau de biodiversité ». L'application de ces principes nécessite une connaissance des modifications de l'écosystème forestier en fonction de l'intensité de l'exploitation.

Pour contribuer à répondre à cette problématique, l'UMR ECOFOG (écologie des forêts de Guyane), en partenariat avec l'ONF, a mis en place ce projet dont l'objectif est de déterminer quelles intensités d'exploitation et quelles répartitions de prélèvement permettent d'optimiser la productivité sylvicole sans compromettre la biodiversité du peuplement forestier.

L'originalité de ce projet repose, entre autres, sur l'analyse de la réponse de l'écosystème à un indice de perturbation (taille des trouées d'abattage et la distance au bord de la trouée) plutôt qu'à un indice de prélèvement (intensité d'exploitation). Une grande partie du projet consiste à déterminer les effets de cet indice sur quatre niveaux de la **biodiversité des arbres** : sur la diversité spécifique, sur la composition fonctionnelle (les caractéristiques écophysiologiques qui permettent d'expliquer les différences de tempérament et de stratégies en réponse à cette perturbation), sur la diversité génétique, et sur des paramètres de la dynamique forestière (croissance, mortalité et recrutement).

Présentation des travaux

Introduction

Au moment où la prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière devient une priorité dans toutes les forêts du monde, les forêts tropicales humides reconnues comme des modèles de biodiversité sont des objets privilégiés pour l'étude des forêts hétérogènes et diversifiées.

Par ailleurs, la définition de règles de gestion durable est une question très sensible pour les forêts tropicales humides, particulièrement menacées et situées dans des pays où le développement économique est une nécessité, avec des compromis difficiles entre exploitation et préservation. En Guyane où

se trouve la seule grande forêt tropicale gérée par un pays européen, il est indispensable de mettre en avant une gestion exemplaire et appuyée sur des connaissances scientifiques éprouvées et innovantes. Cette gestion qui s'appuie sur une démarche d'aménagement maintenant bien établie devrait être labellisée très prochainement par une certification de la gestion durable des forêts PEFC.

Les règles de sylviculture sont un élément de cette gestion. Les interventions sont limitées à l'exploitation forestière, soumise à un cahier des charges techniques qui doit garantir la maîtrise des dégâts, la régénération des peuplements, le maintien de la biodiversité et les fonctions principales de l'écosystème. Depuis une dizaine d'années, on s'attache à définir des règles d'exploitation à faible impact (EFI), en supposant qu'en mimant au mieux les dynamiques naturelles, on garantira la gestion durable. L'EFI est aujourd'hui considérée comme un outil majeur et indispensable contribuant à la gestion durable des forêts tropicales, ce qui en fait un élément incontournable pour la certification de tout aménagement forestier. L'évaluation rigoureuse de l'effet de ces règles (inventaire préalable, délianage, planification des pistes, abattage directionnel) sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes reste néanmoins à poursuivre – d'autant que les polémiques sont nombreuses sur les possibilités de concilier prélèvement et conservation -, avec la nécessité de disposer de dispositifs anciens de suivi de la dynamique forestière après exploitation.

Ce projet s'appuie principalement sur le dispositif expérimental de Paracou en Guyane française. Celui-ci est un site important pour la recherche sur la forêt tropicale du fait de sa taille et du recul de 20 ans après l'exploitation dont on dispose. La présence d'une équipe multidisciplinaire (UMR ECOFOG avec ses partenaires hexagonaux) installée autour de ce dispositif, en relation étroite avec le gestionnaire (en Guyane l'ONF se trouve au cœur du dispositif de recherche grâce au GIS Irista), doit permettre des avancées significatives et génériques sur la façon d'aborder l'impact de la gestion sur la biodiversité et le fonctionnement d'écosystèmes complexes, particulièrement riches en espèces. Le but ultime est de comprendre et prédire les effets de l'intensité d'exploitation et du degré d'ouverture de la canopée sur le maintien de la biodiversité des arbres (ici, la diversité spécifique, génétique intra-spécifique et fonctionnelle, à l'échelle locale).

Les résultats synthétisés obtenus en Guyane depuis une vingtaine d'années sont les suivants. Il est apparu que la reconstitution du stock des arbres exploitables nécessite d'attendre 50 ans au minimum selon le pool d'espèces considéré. Le rallongement des durées de rotation ne semble pas constituer une solution à cette reconstitution, et la réduction des dégâts d'abattage notamment vis-à-vis

des arbres d'avenir est apparue une priorité. Des modifications de la composition floristique suite à l'exploitation paraissent inévitables et les effectifs d'arbres exploitables pour certaines espèces seront beaucoup plus faibles à la prochaine rotation (ex. *Sextonia rubra*). Enfin, malgré la fermeture du milieu près de 20 ans après exploitation, la structure forestière et la dynamique forestière restent très différentes de celles enregistrées en forêts non perturbées.

Matériels et méthodes

Le dispositif de Paracou comprenait dans sa phase initiale 12 parcelles de 6,25 ha (9 ha avec la zone tampon) réparties en parcelles témoins et trois types de traitements sylvicoles, avec trois répétitions de chaque cas. Les interventions sylvicoles ont été effectuées en 1986 et 1987. Depuis, le dispositif a été complété par l'adjonction de trois parcelles de 6,25 ha et une de 25 ha installées en forêt non-perturbée. Dans chaque parcelle, les arbres de plus de 10 cm de diamètre ont été cartographiés. Les 3 composantes de la dynamique forestière (accroissement, mortalité et recrutement) sont suivies depuis 1984 pour les 12 premières parcelles et depuis 1991 pour les autres. L'amélioration des identifications botaniques des arbres est en cours, rendue nécessaire par le fait que les premières identifications étaient focalisées sur les espèces commerciales uniquement. Pour les jeunes arbres d'un diamètre inférieur à 10 cm et d'une hauteur supérieure à 150 cm, nous disposons de données de croissance et de mortalité ; pour les tiges d'un diamètre compris entre 2 et 10 cm nous avons également acquis des données de répartition.

Outre les données sur les arbres, plusieurs types de données caractérisant l'environnement des parcelles sont disponibles :

- la topographie,
- une cartographie des criques et des zones de bas-fonds,
- une cartographie des dégâts (trouées, pistes de débardage) consécutifs aux traitements sylvicoles (*cf.* figure 1).
- une cartographie fine des conditions édaphiques (en cours d'obtention).

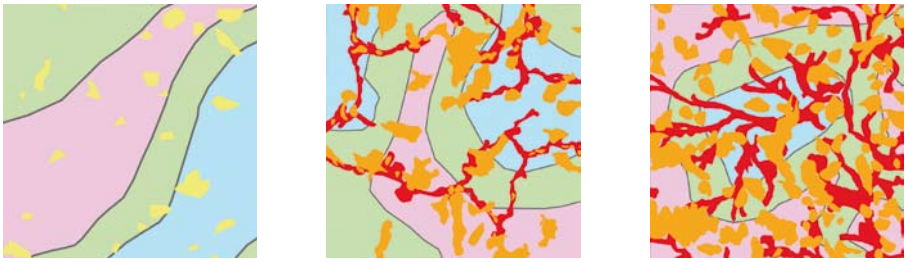


Figure 1. Exemples de perturbation de l'exploitation forestière dans trois parcelles de 6,25 ha à Paracou représentant un gradient de l'intensité de l'exploitation (de gauche à droite, P15, 0 m^3 ha^{-1} ; P5, 20 m^3 ha^{-1}; P8, 69 m3 ha^{-1}). Des chablis naturels (jaunes) et trouées d'abattage (orange) ainsi que les pistes de débardage (rouge) ont été identifiées en 2001 (P15) et 1987. Des strates topographiques ont été définies : plateau (bleu), pente (vert) et bas versant (rose).

Ces informations sont regroupées dans une base de données, couplée à un système d'information géographique (SIG). Les traitements les plus intenses, dont l'un comprenait la dévitalisation de nombreuses tiges, a placé le peuplement dans des situations extrêmes d'ouverture de la canopée, particulièrement intéressantes pour l'analyse des potentialités des espèces.

Résultats

Grace au SIG, une ouverture donnée peut être décrite par sa surface (m^2), son périmètre (m), etc., autant d'éléments permettant de caractériser l'environnement local perturbé autour d'un arbre sujet. Les dégâts (trouées et pistes de débardage) représentent 27,79 % de la surface des neuf parcelles traitées (56,25 ha) alors que les pistes (hors dégâts) représentent 13,15 %.

En ce qui concerne la diversité spécifique des arbres, les différents habitats ne se distinguent pas. Par conséquent, la diversité à une plus grande échelle spatiale que celle étudiée, c'est-à-dire la diversité gamma, est probablement augmentée par l'exploitation.

Par ailleurs, nous avons évalué l'effet du degré d'exploitation sur la diversité génétique de *Jacaranda copaia* et de *Virola michelii*, des espèces à bois tendre. On a croisé un classement par cohorte et par degré d'exploitation. Les résultats montrent qu'au sein des trois cohortes et pour chaque locus, il n'y a pas d'influence de la parcelle (donc du niveau d'exploitation) sur la diversité génétique. Par contre, une analyse spatiale plus fine révèle que le **degré de consanguinité des juvéniles en zones exploitées apparaît plus fort que dans la génération de leurs parents potentiels**. Les analyses plus fines pour les échantillons ramassés lors du projet sont en cours.

La croissance de la plupart des espèces (27 sur les 43 étudiés) est favorisée par l'ouverture du peuplement liée à l'exploitation forestière. Nous avons montré que **l'influence des trouées d'abattage sur la croissance des arbres après exploitation dépend principalement de la distance moyenne de l'arbre** à la trouée et peu des variations de surface des trouées d'abattage. Il est également apparu que pour environ 30% des espèces, la réponse à la perturbation dépend du stade de développement de l'arbre. **En général, les jeunes adultes sont plus réactifs à l'ouverture du peuplement que les arbres matures.** Concernant le recrutement des arbres après exploitation, nos résultats ont montré que l'on ne peut raisonnablement pas écarter l'hypothèse que toutes les espèces réagissent de la même manière à l'ouverture du peuplement et que les seules différences existantes sont des différences de taux de recrutement « naturels ». Concernant la mortalité des arbres après exploitation, les surmortalités d'arbres proches des trouées d'abattage semblent essentiellement dues aux morts sur pieds naturels et aux chablis secondaires. Une explication possible est que, près des trouées, la surmortalité est due à un stress se manifestant par une mort sur pied et que, *in fine*, quand ces arbres morts tombent ils entrainent des chablis secondaires. Les réactions du peuplement en termes de mortalité et recrutement sont toujours en cours d'étude.

Acquis en termes de transfert

Cette étude a permis d'apporter des réponses aussi bien à des questionnements fondamentaux qu'à des questions de gestion forestière (prévision des effets de différentes modalités d'ouverture de la canopée, prévention de la dérive de la composition, modélisation…).

Dans le contexte tropical et notamment en Guyane où l'expérience de la foresterie est courte, le développement d'une sylviculture est un objectif ambitieux. La forte diversité de la composition des peuplements guyanais et leur fonctionnement complexe n'est pas encore bien décrypté. L'objectif poursuivi par le gestionnaire pour les forêts de production est de faire évoluer les peuplements naturels afin de donner une place plus importante aux espèces commercialement intéressantes et d'augmenter la productivité de ces peuplements tout en veillant à ce que les principaux services de l'écosystème soient maintenus (carbone, maintien de la biodiversité).

L'ouverture du peuplement reste la principale intervention sur le peuplement forestier tropical, elle s'accompagne de perturbations au sol. Des résultats récents (Guitet *et al.*, sous presse) ont montré que les éclaircies sous forme de dévitalisation avaient un effet sylvicole très limité. Les connaissances acquises dans ce projet vont donc permettre d'orienter l'exploitation forestière en

Guyane afin d'en faire un véritable outil sylvicole permettant de piloter la dynamique du peuplement forestier.

Plusieurs résultats marquants, repris ci-dessous, peuvent être retenus pour les gestionnaires.

Modalités de prélèvement de la ressource : privilégier des petites trouées pour dynamiser le peuplement

Le gain de croissance des arbres après ouverture du peuplement par l'exploitation forestière va dépendre essentiellement de la proximité de ceux-ci à une trouée d'abattage (pour une distance inférieure à 25 m), la surface de celle-ci ayant peu d'influence. À taux de prélèvement égal, il faut clairement **privilégier plusieurs petites trouées à quelques grandes**, ce qui souligne l'importance et la maîtrise des techniques d'abattage directionnel. Appliquée à l'ensemble du peuplement, l'augmentation du nombre de trouées permettra une reconstitution optimale de la biomasse forestière. Cependant les modalités spatiales de l'exploitation peuvent aussi être mises en œuvre pour dynamiser la croissance de quelques espèces cibles (*cf.* ci-dessous).

La réaction de croissance des espèces d'intérêt commercial

L'ouverture du peuplement suite à l'exploitation forestière augmente la croissance d'une grande majorité d'espèces d'intérêt commercial (colonne de droite du tableau 1, page suivante). Cependant, pour certaines essences, le gain de croissance diffère selon la taille de l'arbre : par exemple, le gain de croissance est élevé pour les jeunes arbres d'angélique (*Dicorynia guianensis*, le principal espèce exploitée en Guyane) alors que les plus gros ne réagissent pas.

Cela souligne **l'importance de marquer spatialement les arbres d'avenir** et d'organiser le prélèvement en tenant compte de cette information.

La croissance des arbres appartenant aux deux autres principales espèces exploitées (*Sextonia rubra* et *Qualea rosea*) n'augmentent pas après exploitation forestière. Pour le Grignon (*Sextonia rubra*), cette absence de réaction, associée à de faibles effectifs de tiges d'avenir (courbe diamétrique en U), aura pour conséquence une très lente reconstitution du stock d'arbres exploitables pendant la durée de la rotation (65 années en Guyane). Cette espèce ne présentera pas le même potentiel commercial pour le prochain cycle d'exploitation à moins qu'un taux de prélèvement plus faible soit imposé par un relèvement de son Diamètre Minimum d'Exploitabilité.

Tableau 1. Réactions de croissance de quelques espèces commerciales après exploitation

Réaction nulle	Réaction positive	
Sextonia rubra (Lauraceae) *Qualea rosea* (Vochysiaceae) *Recordoxylon speciosum* (Fabaceae)	Arbres < 35 cm	*Carapa procera* (Meliaceae) *Dicorynia guianensis* (Fabaceae)
	Arbres > 35 cm	*Vouacapoua americana* (Fabaceae)
	Toutes tailles	*Andira coriacea* (Fabaceae) *Couratari multiflora* (Lecythidaceae) *Jacranda copaia* (Bignoniaceae) *Manilkara bidentata* (Sapotaceae)

La production n'est pas incompatible avec la préservation de la biodiversité

L'exploitation forestière maintient le même nombre d'espèces et la même diversité fonctionnelle pour la communauté d'espèces qui s'est régénérée après exploitation. En revanche la composition en espèces est modifiée avec pour conséquences des changements dans la composition fonctionnelle du peuplement. À titre d'exemple, la densité du bois est en moyenne plus faible pour les espèces se régénérant dans les trouées d'exploitation, réduisant ainsi les capacités de stockage de carbone, en comparaison à la valeur des espèces de forêts non perturbées. D'autres traits fonctionnels, liés à la défense contre l'herbivorie et la tolérance à la sécheresse, ont également des valeurs plus faibles pour les espèces se régénérant dans les trouées.

Ces acquis peuvent être intégrés par le gestionnaire forestier dans des documents de référence dans le cadre général du code forestier (mis en place par décret en Guyane depuis 2007) donnant une légitimité à la gestion forestière. Les documents suivants devraient être finalisés début 2010.

La directive régionale d'aménagement est un document qui constitue une base réglementaire et la référence pour la mise en place d'une politique forestière

La charte d'exploitation dans le cadre de la certification est un guide d'exploitation à faible impact pour la certification de la gestion durable en cours en 2009. La charte est issue d'une démarche de concertation achevée entre les exploitants et l'ONF.

Le guide de sylviculture est un document technique qui peut intégrer directement les connaissances acquises dans ce projet sur les modalités de prélèvement et les recommandations pour les espèces commerciales.

Cette étude a été le support de communication des résultats de l'UMR Eco-FoG auprès des gestionnaires de l'ONF et auprès des étudiants de la Licence Professionnelle « Protection de l'Environnement » de l'Université Antilles-Guyane. La communication entre chercheurs et gestionnaires forestiers s'effectue par plusieurs voies en Guyane : réunions du GIS Irista et de l'UMR EcoFoG ; projets PO-Feder Dygepop et Guyafor et mise en commun de moyens.

Liste des principales valorisations des recherches

Publications scientifiques parues

Blanc L., Echard M., Bonal D., Marcon E., Chave J., Baraloto C., 2009. Dynamics of aboveground carbon stocks in a selectively logged neotropical rainforest. *Ecological Applications*, 19: 1397-1404.

Publications scientifiques à paraître

Baraloto C., Hérault B., Paine C.E.T.P., Massot H., Blanc L., Bonal D., Chave J., Molino D.-F., Nicolini E., Sabatier D., soumis. Logging degrades tropical forest functional composition. *Science*.

Hérault B., Ouallet J., Blanc L., Wagner F., Baraloto C., in review. Differential species growth response to canopy openings in a neotropical forest: a spatially-explicit approach. *Journal of Applied Ecology*.

Publications scientifiques prévues

Une publication sur les résultats obtenus sur la distribution des dégâts d'abattage sur le dispositif Paracou (Revue ciblée : *Forest Ecology and Management*)

Une publication sur l'application des résultats du projet pour la gestion des forêts tropicales humides. (Revue ciblée : *Forest Ecology and Management*)

Une publication sur les résultats obtenus sur la distribution de la diversité génétique de *Jacaranda copaia* (Revue ciblée : *Molecular ecology*)

Une publication sur les résultats obtenus sur la distribution de la diversité génétique de *Virola michelii* (Revue ciblée : *Molecular ecology*).

Une publication sur les résultats obtenus sur l'interaction entre stade de développement et taux de croissance et survie des arbres (Revue ciblée : *Ecology*)

Participation à des colloques nationaux ou internationaux

Baraloto C., 2006. Life history trade-offs and the differential response of tropical timber trees to logging. Communication orale. *School of Forest Resources and Conservation* - Université de Floride, 11 novembre 2006.

Blanc L., Herault B., Wagner F., Baraloto C., 2008. Differential growth response of tropical trees to canopy gaps: a spatially-explicit approach. Communication orale, *Annual meeting of ATBC*. Paramaribo (Surinam), 9-13 juin 2008.

Rapports de fin d'étude

Massot H., 2007. *Conséquences de l'ouverture de la canopée sur la diversité spécifique et la composition floristique des forêts tropicales humides*. Rapport de 2ème année. Paris, AgroParisTech, 33 p.

Montaigne W., 2007. Effets de l'exploitation sur la structure démographique et génétique de populations de l'arbre forestier *Virola michelii*. Rapport de Master 2. Pointe-à-Pitre (Guadeloupe, France), Université Antilles-Guyane, 28 p.

Ouallet J., 2007. *Conséquences de l'ouverture de la canopée sur la croissance des arbres*. Rapport de 2ème année. Paris, AgroParisTech, 35 p.

Vimal R., 2007. *Diversité génétique et dynamique de la régénération de Jacaranda copaia*, Rapport de Master 2. Pointe-à-Pitre (Guadeloupe, France), Université Antilles-Guyane, 35 p.

Actions de transfert et de communication

Un workshop organisé par l'ONF pour les ouvriers et techniciens du dispositif Paracou en avril 2007.

Contributions à trois documents de l'ONF-Guyane : directive régionale d'aménagement, charte d'exploitation dans le cadre de la certification (ONF-exploitant), guide de sylviculture.

Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne

Rôle de l'antécédent historique et de l'intensité des entretiens des peupleraies, en interaction avec la station et en référence aux habitats forestiers et prairiaux sub-naturels

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : 27 janvier 2006
Montant du budget (MEEDDM – programme BGF) : 114315 € TTC
Cofinancements obtenus : néant

Coordinateur

Alain Berthelot
FCBA Station Nord-Est
60, route de Bonnencontre 21170 Charrey-sur-Saône
Email : alain.berthelot@fcba.fr

Autres participants au projet

Richard Chevalier (Cemagref), Emmanuelle Dauffy-Richard (Cemagref, Frédéric Archaux (Cemagref), Pierre Gonin (IDF / CNPPF), Sylvain Gaudin (CRPF Champagne-Ardenne), Marianne Duprez (IFN)

Mots clés : biodiversité, flore, avifaune, *Carabidae*, peupleraie, forêt, prairie, jachère, vallée, Champagne, Seine, Aube, Marne, usage du sol, historique, antécédent, paysage, sous-étage, humidité du sol, itinéraires techniques, gestion forestière, vulgarisation, bilan économique

Objectifs des recherches

Le projet cherche à améliorer les connaissances sur la biodiversité des peupleraies en les comparant aux forêts et aux prairies subnaturelles occupant les mêmes espaces. Il s'inscrit dans l'axe 1 de l'APR BGF, 2005 : « Approfondir les connaissances sur la relation entre fonctionnement des écosystèmes forestiers, biodiversité et gestion ».

Dans une région de longue tradition populicole, nous évaluons l'effet de facteurs d'origine anthropique ou naturelle sur la structuration de la biodiversité alluviale, pour la flore vasculaire, les coléoptères carabiques et l'avifaune. Selon les taxons, nous confrontons (1) des facteurs locaux actuels (usage actuel du sol, âge de la peupleraie, intensité de la populiculture, humidité de la station), (2) des facteurs locaux historiques (antécédent cultural de la peupleraie, occupation ancienne des sols) et (3) des facteurs paysagers actuels (part relative des compartiments agricole-peupleraie-forêt dans le paysage). La réponse des communautés à ces variables et à leurs interactions nous renseigne sur les processus écologiques impliqués, et, le cas échéant, nous conduit à proposer des scénarios de gestion favorisant la biodiversité alluviale.

Les coûts directs (interventions supplémentaires) ou indirects (ralentissement de la croissance) de ces scénarios sont évalués pour la peupleraie, en comparaison de l'itinéraire populicole classiquement pratiqué dans les vallées de Champagne.

Présentation des travaux

Introduction

Dans les grandes vallées de Champagne, fortement marquées par les activités humaines et où la peupleraie a une superficie plus élevée que la forêt, nous avons étudié l'influence d'un ensemble de facteurs locaux, historiques et paysagers sur la biodiversité de la flore vasculaire, des coléoptères carabiques et de l'avifaune.

Ainsi, nous avons abordé (1) la contribution des peupleraies à la biodiversité des vallées par rapport à celle des surfaces enherbées et des forêts (pour les 3 groupes), (2) la succession des communautés au cours du cycle populicole (pour les 3 groupes), (3) l'influence de l'antécédent cultural de la peupleraie (flore), (4) l'effet du sous-étage en peupleraie (flore et avifaune) et (5) l'influence du paysage environnant (carabiques et flore).

La compréhension des processus qui conditionnent la biodiversité alluviale, et en particulier celle des peupleraies, nous a conduit à formuler des préconisations de gestion pouvant être assemblées en itinéraires techniques respectueux de la biodiversité, dont nous avons cherché à évaluer le surcoût en populiculture. Cette démarche a permis d'aboutir à la rédaction de fiches de vulgarisation à destination des gestionnaires et des propriétaires.

Matériel et méthodes

La zone d'étude s'étend sur environ 95 000 ha, le long de la Seine, de l'Aube, de la Marne et de leurs principaux affluents dans les départements de la Marne et de l'Aube. Le climat est de type atlantique dégradé, avec une température moyenne de 10,1 à 10,3°C et des précipitations comprises entre 600 et 750 mm / an. Les sols, presque toujours carbonatés, sont formés sur des alluvions actuelles (Fz), de texture variable, mais à dominante fine (argile, limons). Les variations de profondeur d'apparition des graves calcaires et de la nappe expliquent une grande part de leur variabilité. Le paysage est largement dominé par les espaces agricoles, avec seulement 7,4 % de la surface en forêt et 8,4% en peupleraie dans les années 1990.

Le plan d'échantillonnage initial a été réajusté au regard des réalités du terrain. Ainsi, pour les carabiques, il n'a pas été possible d'échantillonner des prairies subnaturelles et la stratification des peupleraies sur les facteurs historiques a dû être remplacée par une stratification sur la dominante paysagère.

Tableau 1. Types d'habitats actuels constitutifs des plans d'échantillonnage flore et carabiques, nombre de relevés correspondants[1] et proportions sur le secteur d'étude du dispositif avifaune (les % renvoient à la surface relative des différents usages sur la surface cumulée 100 m autour des 124 points d'écoute).

Flore (344 relevés)		38	19	87	68	35	6	34
Carabiques (63 points)		12		20	20		11	
Avifaune (124 points)		15 %		13 %	39 %		33 %	
Usage local actuel	**Culture**	**Jachère**	**prairie sub-naturelle**	**Peupleraie jeune classique**	**Peupleraie âgée classique**	**Peupleraie âgée à sous-étage**	**Forêt récente**	**Forêt ancienne**

1 – Pour la flore, 70 relevés ont été écartés pour des raisons de contrôle de certains facteurs historiques, stationnels ou sylvicoles.

Le Tableau 1 présente, pour chacun des groupes étudiés, la répartition des points d'échantillonnage par type d'usage actuel. En complément, nous signalons que :

- les jachères incluent les prairies artificialisées,
- les peupleraies classiques ont un sous-étage ligneux réduit (< 15 %) alors qu'il est plus développé dans les peupleraies à sous-étage (> 25 %),
- l'âge des peupleraies jeunes est de 2-6 ans contre 11-21 ans pour les peupleraies âgées,
- les modalités forêt correspondent à des peuplements assez matures (surface terrière > 20 m^2 ou avec % bois d'œuvre > 1/3),
- pour les forêts anciennes, l'état boisé est ininterrompu depuis 170 ans.

En plus de l'usage actuel, **trois types d'antécédent immédiat des peupleraies** ont été comparés pour la flore (antécédent prairie, peupleraie et forêt-peupleraie[2]), ainsi que **l'environnement paysager** (dominante : agricole, populicole ou variée) dans un rayon de 500 m pour les carabiques et la flore et dans un rayon de 100, 250 et 500 m pour l'avifaune.

Le protocole de caractérisation taxonomique est lié à chaque groupe.

Pour la flore, 1 relevé sur 200 m^2, avec un effort de recherche de 30 minutes, en un seul passage (mai à août 2006 et 2007). Seule la strate 0-8 m (flore du sous-bois) est utilisée dans cette synthèse. Sur les 414 relevés, 420 espèces ont été inventoriées dont 21 patrimoniales : 7 protégées, 9 en liste rouge régionale et 5 protégées en région limitrophe.

Pour les carabiques, 3 pièges à fosse de diamètre de 8,5 cm et espacés de 15 m, par point, activés de mi-avril à fin juin, puis de début septembre à début octobre 2007. Sur les 63 points, 11 155 individus, appartenant à 110 espèces (dont seulement 22 forestières), ont été identifiés.

Pour les oiseaux, la zone d'étude, réduite à 6000 ha, a été entièrement cartographiée, ce qui a permis d'estimer la proportion de chaque usage jusqu'à 500 m autour des points. Sur chacun d'eux, deux périodes d'écoute de 5 minutes on permis d'identifier les oiseaux chanteurs dans un rayon de 100 m. Sur les 124 points, ont été localisés 2 482 individus appartenant à 64 espèces, pour la très grande majorité communes en France.

2 – Près des 2/3 des situations sont un retour à l'état forestier entre deux générations de peuplier ou bien des peuplements mélangés forêt/peuplier. Il est alors délicat de considérer la situation comme un réel antécédent forestier et nous préférons utiliser le terme « forêt-peupleraie ».

Résultats et discussion

Le projet scientifique s'articule autour de 9 groupes d'hypothèses, constitués de 26 hypothèses, elles-mêmes divisées en 47 sous-hypothèses. Nous en reprendrons ici les principaux résultats, essentiellement exprimés en richesse locale (nombre moyen d'espèces par point) pour différents groupes d'espèces.

Prairies subnaturelles et forêts anciennes : des éléments rares !

Un des premiers résultats de cette étude est l'extrême rareté des prairies subnaturelles et des forêts anciennes. Nous avons pu caractériser ces types d'habitats uniquement pour la flore. D'une part, les prairies subnaturelles se distinguent des jachères par un nombre d'espèces légèrement inférieur, mais surtout par un plus grand nombre d'espèces prairiales (+ 30 %) et une plus faible richesse en espèces des cultures (- 26 %). D'autre part, la richesse spécifique des forêts anciennes n'est pas plus forte que celle des forêts récentes, mais elles s'en distinguent par la plus forte richesse d'espèces dites de forêts anciennes (+ 44 %).



Figure 1. De gauche à droite : photos de jachère, peupleraie classique jeune et âgée, forêt récente (Photos R. Chevalier)

Peupleraie : intermédiaire entre surfaces enherbées et forêt ?

Pour les 3 groupes, la peupleraie classique présente des caractères intermédiaires entre les surfaces enherbées et les forêts ; mais la nature de la ressemblance dépend de l'âge de la peupleraie, ce qui permet de distinguer les milieux ouverts (surfaces enherbées et jeunes peupleraies) des milieux fermés (peupleraies âgées et forêts) (*cf.* figure 1 et 2). Cependant, certaines espèces restent préférentielles ou exclusives des surfaces enherbées et des forêts.

La peupleraie ne remplit qu'un rôle très partiel de refuge pour les espèces prairiales (flore) et pour les oiseaux forestiers, alors que ce rôle est plus marqué pour les carabiques et la flore (espèces forestières) ainsi que pour les espèces de carabiques de milieux ouverts.

Par ailleurs, des espèces sont préférentielles des peupleraies : 31, principalement de mégaphorbiaie, pour la flore (soit 7,4 % des espèces rencontrées),

18, principalement généralistes, pour les carabiques (16,4 %) et seulement 3 pour l'avifaune (4,7 %). Enfin, la flore des peupleraies est nettement plus eutrophile que celle des espaces enherbés et des forêts.

Le cycle populicole : succession emboitée ou décalée ?

Le type de succession des communautés biologiques au cours du cycle populicole est l'élément majeur de compréhension du fonctionnement de l' « écosystème peupleraie ». Ainsi, nous observons deux patrons de succession très différents.

Pour la flore, la succession est emboîtée avec un maximum d'espèces en début de succession. En conséquence, le nombre moyen d'espèces est nettement plus élevé dans les peupleraies jeunes (environ 40) que dans les peupleraies âgées[3]. Au cours du cycle populicole, le nombre d'espèces des cultures décroît rapidement, celui des espèces de mégaphorbiaies se réduit plus lentement alors que celui des espèces forestières se maintient. Nous n'observons aucun signe d'appauvrissement du nombre d'espèces des communautés végétales avec la répétition des cycles populicoles.

Pour les carabiques et l'avifaune, la succession est décalée : des espèces se succèdent au cours du cycle, des espèces plus forestières remplaçant progressivement des espèces davantage associées aux milieux ouverts. **Contrairement à la flore, le prolongement du cycle serait en mesure de favoriser l'apparition de nouvelles espèces.**

Une faible influence de l'antécédent cultural des peupleraies sur la flore

Nous observons que les jeunes peupleraies à antécédent prairial ont une moindre richesse totale, en espèces forestières et de mégaphorbiaies, alors qu'elles ne présentent pas plus d'espèces prairiales. L'installation d'une peupleraie serait donc assez peu favorable aux anciennes communautés prairiales alors que les communautés typiques de l'« écosystème peupleraie » sont acquises avant la fin du premier cycle populicole.

Peupleraie avec sous-étage : le chemin vers la forêt ?

L'effet du sous-étage dans des peupleraies âgées est assez net sur la biodiversité. La densité des oiseaux nicheurs croît avec le couvert du sous-étage (mais la composition en espèces change peu). Elle est ainsi multipliée par 3 lorsque le sous-étage représente 30% de couvert par rapport à des peupleraies sans sous-étage. Pour la flore, si la richesse totale et le couvert végétal restent inchangés,

3 – le nombre d'espèces est également plus élevé dans les peupleraies jeunes que dans les surfaces enherbées et les forêts (environ 25 espèces).

la composition de la peupleraie avec sous-étage est modifiée. Ainsi les peupleraies à sous-étage sont au moins équivalentes aux forêts récentes pour la richesse en espèces forestières et de forêts anciennes.



Figure 2. Photos de peupleraies âgées : classique à gauche, à sous-étage à droite (Photos R. Chevalier)

L'influence du paysage environnant dans un rayon de 500 m autour des peupleraies est nulle pour la flore et assez faible pour les carabiques. Pour ces derniers, la richesse en espèces généralistes des milieux ouverts augmente avec la proportion de surface agricole tandis que la proportion de surface forestière a un effet positif sur la richesse des carabiques spécialistes forestiers et négatif sur celle des carabiques de milieux ouverts.

Conclusions et perspectives

Les résultats d'ordre scientifique sont de portée variable suivant les hypothèses et les groupes taxonomiques. En comparaison de l'influence de l'âge de la peupleraie (pour les 3 groupes) et du sous-étage (pour la flore et l'avifaune), celle de l'antécédent cultural (pour la flore) et du paysage environnant (flore, carabiques et avifaune) est bien moindre. Nous nous accordons, pour les 3 groupes, à situer la peupleraie entre les milieux ouverts (prairies ou jachères) et les forêts (anciennes ou récentes) avec des espèces préférentielles des trois types d'usage du sol. De fortes différences existent entre les peupleraies jeunes et âgées, signe d'une évolution très rapide répondant à une succession emboîtée pour la flore et décalée pour les carabiques et l'avifaune. Enfin, par rapport aux autres usages, **les peupleraies favorisent la flore typique des mégaphorbiaies qui constituent un type d'habitats Natura 2000**.

Au final, si la peupleraie ne remplit qu'un rôle très limité de refuge pour la flore prairiale, la populiculture classique majoritairement pratiquée sur la zone d'étude ne porte pas une atteinte irrémédiable à la biodiversité floristique forestière. Toutefois, les résultats sont plus mitigés pour les oiseaux et

les carabiques. Pour ces derniers, nous avons constaté une faible présence des espèces forestières qui, de ce fait, n'ont pas toujours pu être prises en compte dans les analyses. La faible proportion de forêt dans le paysage, propre à la zone d'étude, est sans doute à l'origine de ce phénomène et pourrait constituer un facteur limitant l'expression d'une biodiversité forestière en peupleraie, pour les carabiques comme pour l'avifaune. Une populiculture avec sous-étage serait, en outre, en mesure de jouer un rôle important, dans le cadre de la mise en œuvre de la trame verte, pour reconnecter entre-elles les forêts anciennes en fort déclin sur la zone d'étude.

Les résultats de l'étude demeurent toutefois critiquables et perfectibles. Il serait intéressant d'étendre ce type d'étude à d'autres cortèges (comme les rongeurs ou espèces saproxyliques). De plus, l'approche synchronique nous invite à la prudence vis-à-vis de biais d'échantillonnage susceptibles d'entrainer des effets confondants. Si un effort particulier de contrôle des facteurs a été rendu possible pour la flore[4], cela n'a pas été le cas pour le dispositif carabiques où l'historique et la station sont moins bien contrôlés.

Les analyses de données se poursuivent pour mieux contrôler les biais éventuels et affiner la part relative de chacun des facteurs de variation. À cet effet, de nouvelles variables et échelles paysagères vont être testées sur le dispositif carabiques. Un prolongement du projet est à l'étude pour valoriser les 414 relevés floristiques dans le cadre d'une approche mixte paysage/histoire, plus fouillée, en écho à plusieurs études récentes menées dans des forêts alluviales européennes. Il est également envisagé de poursuivre les analyses sur la gestion de la peupleraie en incluant notamment l'effet du cultivar, de la densité de plantation et des techniques de contrôle de la végétation concurrente.

Acquis en termes de transfert

Le transfert des connaissances acquises dans le cadre de ce projet a été imaginé dès l'origine, et organisé dans le cadre d'un volet « technico-économique » spécifique. Ce volet avait pour principal objectif d'identifier des modifications de pratiques, par rapport à l'itinéraire populicole de référence, susceptibles d'améliorer la biodiversité, et de quantifier l'impact de ces préconisations sur la rentabilité de la populiculture. D'autres acquis de l'étude, même non attendus, méritent d'être mis en valeur auprès des gestionnaires parce qu'ils peuvent contribuer au maintien ou à l'amélioration de la biodiversité des vallées.

4 – En raison du nombre élevé de relevés autorisant une meilleure puissance statistique.

Tous ces éléments participent à la réponse aux questions posées dans l'axe 1 de l'appel à projet de recherche, particulièrement la première, mais aussi, dans une moindre mesure la deuxième :

- Comment gérer un peuplement forestier pour atteindre des objectifs de maintien ou de restauration de la biodiversité ?
- Quel rôle jouent la composition et la structure du paysage à dominante forestière sur le maintien et la dynamique de la biodiversité ?

Préserver les milieux originaux et peu représentés dans la zone d'étude pour maintenir la biodiversité

Dès les premiers mois de l'étude, nous avons constaté au cours de la construction du plan d'échantillonnage, que les prairies et les forêts subnaturelles étaient rares sur la zone. Un effort de recherche supplémentaire a été nécessaire pour compléter notre échantillon de prairie, preuve que les surfaces concernées sont extrêmement faibles. Dans le même ordre d'idée, une étude portant sur l'ancienneté de l'état boisé a confirmé qu'un quart seulement des forêts de la zone d'étude sont âgées de plus de 170 ans (- de 2 500 ha).

Il semble donc important de rappeler, en premier lieu, qu'**un moyen efficace de maintenir la biodiversité dans les vallées de Champagne est de conserver les prairies subnaturelles et les (véritables) forêts anciennes encore existantes dans ces espaces**. Dans le cadre du projet, nous avons montré la pertinence de la carte d'État-major au 1/40 000ème (en couleur de 1830) pour identifier les forêts anciennes. La mise à disposition de cette carte pour les opérateurs (sous Géoportail, par exemple) constituerait un atout important pour mieux préserver la biodiversité forestière en France.

Préconisations pour améliorer la biodiversité des peupleraies

Un certain nombre de préconisations générales, favorables à la biodiversité, méritaient d'être rappelées. Nous avons ensuite développé des préconisations spécifiques aux peupleraies (objet principal de l'étude), en exploitant les résultats du projet, complétés par une analyse bibliographique. L'impact économique de ces préconisations a été évalué et discuté. Enfin, nous avons évoqué la transformation de la peupleraie en forêt, en particulier sur les sites les moins favorables à l'essence. Des maquettes de fiches de vulgarisation, destinées à être diffusées par le CRPF de Champagne-Ardenne ont été élaborées.

Elles reprennent, en les détaillant, les différents points évoqués et se présentent sous forme de fiches :

- Fiche 1 : Recommandations générales en faveur de la biodiversité dans les boisements alluviaux,
- Fiche 2 : Préconisations supplémentaires en faveur de la biodiversité dans les peupleraies de Champagne,
- Fiche 3 : Transformation de peupleraie en forêt.

Les considérations générales en faveur de la biodiversité concernent la **préservation du bois mort et des arbres à microhabitats, la diversité des essences forestières, la conservation des milieux ouverts et des habitats aquatiques**. Ces recommandations, valables pour l'ensemble des milieux boisés, doivent être prises en considération dans les vallées alluviales, même si les particularismes de la populiculture rendent difficile leur mise en œuvre (extrême morcellement de la propriété, environnement plutôt agricole que forestier). La réflexion sera alors souvent plus pertinente à l'échelle du massif que de la parcelle.

En lien direct avec les principaux résultats de l'étude, deux itinéraires techniques ont été élaborés pour améliorer la biodiversité en peupleraie et leur coût de mise en œuvre a été évalué.

Itinéraire favorisant la mégaphorbiaie

Nous avons vu que les peupleraies avaient la capacité d'héberger des espèces végétales de mégaphorbiaie, selon une succession emboitée. Quelques mesures simples pourraient améliorer la capacité d'accueil des espèces de mégaphorbiaie, notamment dans les milieux les plus humides. Ainsi, il parait intéressant de **ne pas rallonger la durée de la rotation du peuplier, pour faciliter le retour de toutes les espèces de début de cycle au moment de la coupe rase**. Des entretiens supplémentaires (gyrobroyage), destinés à retarder l'installation d'un sous-étage ligneux dans la deuxième partie du cycle populicole, pourraient être préconisés pour aider au maintien de la mégaphorbiaie et des communautés associées.

Itinéraire réduisant la banalisation et favorisant le sous-étage ligneux

À l'opposé de la préconisation précédente, nous avons vu qu'un sous-étage ligneux améliorait la biodiversité en augmentant la densité des oiseaux nicheurs et en favorisant les espèces végétales typiquement forestières (effet également pressenti pour les carabes). **Un arrêt anticipé des entretiens (au bout de 2 ans seulement) pourrait favoriser la mise en place plus rapide d'un**

sous-étage, au prix d'un ralentissement de la croissance des peupliers.

En complément, nous pouvons également proposer des mesures destinées à réduire les signes d'eutrophisation des milieux, mis en évidence par la flore dans les peupleraies, et réduire la banalisation des communautés floristiques et de carabiques, particulièrement visible dans les jeunes peupleraies.

L'eutrophisation des écosystèmes alluviaux est une problématique de gestion du bassin-versant et dépend surtout du type d'agriculture pratiqué en amont. Nous pouvons toutefois préconiser la **suppression de toute fertilisation de la peupleraie**, déjà peu conseillée sur ces stations, pour ne pas rajouter de nutriments dans l'écosystème. Nous pouvons également conseiller d'en exporter en **récoltant l'ensemble de la biomasse ligneuse aérienne, au moment de l'exploitation**, en valorisant les rémanents en plaquettes forestières. Les coupes rases de peuplier s'y prêtent bien, du fait des grandes quantités en cause et des risques très limités d'appauvrissement du sol. Il faudra cependant veiller à appliquer des mesures compensatoires de maintien de bois mort pour les cortèges saproxyliques.

La banalisation des communautés pourrait être atténuée en **limitant les perturbations mettant à nu ou travaillant en profondeur le sol**. Ces pratiques favorisent en effet les espèces les plus communes.

Incidences économiques pour la populiculture

L'itinéraire populicole de référence a été décrit et chiffré, de même que les principales préconisations destinées à améliorer la biodiversité. Ces itinéraires sont comparés avec des méthodes économiques classiques, basées soit sur la comparaison du bénéfice actualisé (BA) lorsque l'âge d'exploitabilité ne change pas, soit sur le bénéfice actualisé de la séquence infinie (BASI) lorsque l'âge d'exploitabilité est modifié. Un taux d'actualisation, calculé selon plusieurs approches, a été appliqué aux dépenses et aux recettes. Pour chacun des scénarios, les diverses méthodologies aboutissent toutes à des ordres de grandeur comparables.

Plusieurs modifications de l'itinéraire de référence, incluant une ou plusieurs préconisations favorables à la biodiversité, ont été étudiées plus précisément. Les résultats varient selon les préconisations et leur répercussion sur la croissance des peupliers, ainsi qu'en fonction des classes de fertilité retenues. Cependant nous avons pu constater que certaines de ces préconisations aboutissent à une perte de revenu conséquente pour le populiculteur. En dehors de la suppression de la fertilisation, rares sont les mesures favorables à la biodiversité

qui soient à la fois efficaces et peu coûteuses. Ainsi, quelques interventions supplémentaires de gyrobroyage, destinées à favoriser les espèces de mégaphorbiaie, non compensées par un gain de croissance des peupliers, suffisent à pénaliser le revenu attendu. L'arrêt prématuré des entretiens, destiné à favoriser l'installation d'un sous-étage, induit une économie dans les travaux à réaliser, mais retarde de quelques années la récolte, ce qui induit une perte de revenu très sensible.

Ainsi, nous avons pu identifier, dans le cadre de ce projet, des modifications de pratiques qui pourraient contribuer à améliorer la biodiversité dans les vallées alluviales. Elles sont, au moins pour une partie d'entre elles, relativement simples à appliquer et peuvent paraître anodines. Cependant, nous avons pu établir que les **impacts constatés sur les revenus de la populiculture peuvent être lourds**.

Perspectives

Les diverses préconisations destinées à améliorer la biodiversité mériteraient d'être mises en place dans des dispositifs de démonstration, voire de véritables dispositifs expérimentaux, de taille suffisante, pour vérifier leur efficacité et leur impact économique. Ce réseau permettrait de valider les résultats suivant une approche diachronique.

Les surfaces unitaires minimales requises doivent être suffisantes pour que les protocoles puissent être appliqués facilement, de façon pérenne, et que les mesures de biodiversité locale puissent être représentatives (minimum un ha). Le protocole appliqué doit rester simple et ne comporter que deux traitements tranchés : l'itinéraire technique de référence, à titre de témoin, et l'itinéraire technique favorisant la biodiversité (soit favorisant les espèces de mégaphorbiaie, soit favorisant l'apparition et développement d'un sous-étage). Le dispositif pourrait être constitué soit de plusieurs parcelles de démonstration simples, soit comporter plusieurs répétitions sur un même site (dispositif expérimental). Il se pose alors la question de la pérennité d'un tel réseau de suivi. En effet si le coût initial n'est que peu élevé par rapport à une plantation « standard », c'est d'abord l'organisation et le suivi de l'application des protocoles définis qui pose la première difficulté, puis, au bout de quelques années, les mesures de biodiversité qu'il faut pouvoir être en mesure de programmer, de réaliser et de financer.

Des organismes de développement, appuyés par des organismes de recherche, pourraient cependant utilement mettre en place de tels dispositifs et assurer leur suivi initial, jusqu'à ce qu'un nouveau projet de recherche puisse prendre le relais au moment d'étudier diverses composantes de la biodiversité sur

des facteurs parfaitement contrôlés. La région Champagne-Ardenne semble parfaitement indiquée pour l'installation de telles parcelles de démonstration, mais la démarche pourrait être étendue à d'autres régions concernées par la populiculture, pour apprécier la portée des résultats. La rapidité des cycles en populiculture rend la démonstration possible à relativement brève échéance en comparaison des expérimentations classiquement menées en forêt.

Il serait aussi intéressant de retourner faire des relevés floristiques sur les jeunes peupleraies échantillonnées en 2006 ou 2007 pour vérifier (1) si l'on retrouve effectivement la succession emboîtée suggérée par notre approche synchronique, (2) si le caractère neutrophile et hygrophile de la flore évolue au cours de la succession. Compte tenu de la rapidité de croissance du peuplier, un retour en 2010-2011 devrait déjà permettre, à faible de coût, de valider rapidement certains résultats pour la flore.

Liste des principales valorisations de recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Archaux F., Martin H., 2009. Hybrid poplar plantations in a floodplain have balanced impacts on farmland and woodland birds. *Forest Ecology and management*, 257 : 1474-1479.

Archaux F., Chevalier R., Berthelot A. (en préparation).The legacy of past landuse on flora depends on perturbation regime. Soumission à *Journal of Ecology* prévue au 2ème semestre 2009.

Archaux F., Chevalier R., Berthelot A., Gonin P., (en préparation). Towards practices favourable to plant diversity in hybrid poplar plantations. Soumission à *Forest Ecology and Management* prévue au 1er semestre 2010.

Archaux F. *et al.*, (en projet). Effect of landscape on plant communities in French lowland floodplains. Soumission à une revue scientifique prévue au 2ème semestre 2010.

Chevalier R., Berthelot A., Carnnot-Millard L., Duprez M., Galland M., Gaudin S., Perrier C., à paraître en 2009. La flore des forêts anciennes. Validité et utilité pour la conservation des forêts alluviales de Champagne. *Symbioses*, Publication trimestrielle du Réseau des muséums de la région Centre, nouvelle série, 24 : 4-12.

Dauffy-Richard E., *et al.* (en projet). What are the best landscape features and scale to explain the carabid community patterns in floodplain poplar plantations. Soumission à une revue scientifique prévue au 1er semestre 2010.

Elek Z., Dauffy-Richard E., Chevalier R. (en préparation). Does poplar cultivation impoverish carabid diversity in floodplain ecosystems ? Soumission à une revue scientifique prévue au 1er semestre 2010.

Elek Z., Dauffy-Richard E., Chevalier R. (en projet). Can plants and carabids use poplar plantations as a surrogate habitat in floodplains, depending on their ecological attributes ? Soumission à une revue scientifique prévue au 1er semestre 2010.

Articles de revues techniques à comité de lecture publiés, sous presse, soumis et en préparation

Chevalier R., Archaux F., Berthelot A., Gaudin S., Gonin P., (en projet). Gestion du sous-étage en peupleraie : un outil pour préserver la biodiversité forestière ? Soumission à une revue technique à comité de lecture au 1er semestre 2010.

Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation

Gonin P., Gaudin S., (à paraître). Itinéraires techniques favorisant la biodiversité dans les vallées alluviales. Fiches techniques intégrant le dossier populiculture du CRPF Champagne-Ardenne.

Participation à des colloques nationaux ou internationaux

Berthelot A., Chevalier R., 2007. Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne. Communication orale, *séminaire intermédiaire du programme « Biodiversité et Gestion Forestière : enjeux écologiques et sociaux »*. Ferrières-en-Brie, GIP ECOFOR, 4-5 octobre 2007.

Berthelot A., Chevalier R., Dauffy-Richard E., Archaux F., Gonin P., Gaudin S., Duprez M., 2006. Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne. Communication orale, *séminaire de lancement du programme « Biodiversité et Gestion Forestière : enjeux écologiques et sociaux »*. Paris, GIP ECOFOR, 30-31 janvier 2006.

Chevalier R., Archaux F., Dauffy-Richard E., 2008. Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées de Champagne : Résultats en cours et perspectives pour une populiculture respectueuse de la biodiversité. Communication orale, *Réunion des ingénieurs du groupe de travail « peuplier et environnement » du CNPPF*. Vitry-le-François, CNPPF, 22 et 23 mai 2008.

Chevalier R., Berthelot A., Duprez M., Galland M., Gaudin S., Perrier C., 2007. La flore des forêts anciennes : Validité et utilité pour la conservation des forêts alluviales de Champagne. Communication orale, 4*èmes* *Rencontres Botaniques du Centre, Nature ordinaire, espaces marginaux, espaces de transition*. Orléans, 24 novembre 2007.

Rapports de fin d'étude

Galland M., 2007. *Influence du précédent cultural sur la biodiversité floristique des forêts alluviales de Champagne*. Mémoire de BTSA Gestion Forestière. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 29 p.

Marie S., 2006. *Étude de la biodiversité floristique des vallées de Champagne-Ardenne. Comparaison des peupleraies avec les prairies et les forêts sub-naturelles*. Mémoire de Licence Professionnelle « Protection de l'Environnement ». Angers, Cemagref-Institut de biologie et d'écologie appliquée, 39 p.

Marie S., Lagneau L.-A., 2006. *Synthèse bibliographique sur la biodiversité floristique sous peupleraies. Rôle de l'antécédent historique et de l'intensité des entretiens des peupleraies, en interaction avec la station et en référence aux habitats forestiers et prairiaux sub-naturels*. Licence Professionnelle « Protection de l'Environnement ». Angers, Cemagref-Institut de biologie et d'écologie appliquée, 16 p.

Divers

Chevalier R., Archaux F., Dauffy-Richard E., Arbeille S., 2008. Biodiversité des vallées alluviales : gros plan sur les peupleraies. *Spot - Le journal interne du Cemagref*, 193 : 4.

CRPF, 2007. Fiche descriptive du projet de recherche sur les milieux alluviaux - vallées alluviales de Champagne-Ardenne. *Document d'accompagnement à la demande d'autorisation de pose de piège à carabes adressée aux propriétaires*, 2 p.

Dauffy-Richard E., Perrier C., Bretonneau N., 2007. Usages et gestions durables des milieux alluviaux dans les vallées de la Seine, de la Marne et de leurs affluents, Étude des Coléoptères carabiques. *Réunion d'information des propriétaires forestiers, mairie de Mailly-le-Camp*, CRPF de Champagne-Ardenne, 19 mars 2007.

Gaudin S., 2005. Les vallées à l'honneur. *Sylvinfo* (CRPF de Champagne-Ardenne), 58 : 16.

Communication des données du projet

Communication des données floristiques 2006 au Conservatoire botanique national du bassin parisien (délégation en Région Champagne-Ardenne) pour alimenter l'atlas floristique électronique du CBNBP : site Internet http://cbnbp.mnhn.fr/cbnbp/

Communication des données phyto-écologiques 2006 et 2007 au CRPF de Champagne-Ardenne pour alimenter le jeu de données nécessaire à la réalisation du guide des stations des vallées alluviales de Champagne-Ardenne.

Représentations sociales et intérêts écologiques de la nécromasse (RESINE)

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : janvier 2006
Montant du budget alloué par BGF : 149 500 € TTC
Cofinancements obtenus :

- **Rambouillet : financement de certaines tâches de terrain par l'ONF.**
- **Landes : financement de certaines mesures pris en charge par le projet forsee.**

Coordinateur

Christophe Bouget – Cemagref, unité « Ecosystèmes forestiers »
Domaine des Barres - 45 290 Nogent-sur-Vernisson
Email : christophe.bouget@cemagref.fr

Autres participants au projet

Philippe Deuffic (Cemagref), Anne-Marie Granet (ONF), Antoine Brin et Hervé Brustel (EI Purpan), Pierre-Arthur Moreau (Univ. Lille), Thierry Noblecourt (ONF), Thomas Cordonnier (ONF-Cemagref), Frédéric Gosselin (Cemagref)

Mots-clés : bois mort, saproxylique, biodiversité, représentations sociales, gestion forestière, indicateurs indirects de biodiversité, sociologie, écologie, champignons, coléoptères

Objectifs des recherches

Le bois mort est un facteur clé pour la biodiversité forestière, retenu au titre des indicateurs de gestion durable des forêts. L'objectif du projet RESINE est :

- d'une part d'améliorer les connaissances susceptibles de valider ou d'améliorer la définition des indicateurs et les pratiques de gestion forestière durable,
- d'autre part, d'évaluer les représentations sociales du bois mort par différents usagers de la forêt, afin de cerner les conditions d'élaboration de projets collectifs autour de la gestion des bois morts.

Présentation des travaux

Introduction

Identifié comme un composant important du suivi des écosystèmes forestiers et un facteur clé pour la biodiversité forestière en tant qu'indicateur de gestion durable en France et en Europe, le bois mort souffre pourtant d'un déficit de connaissances (Bouget, 2007). La synthèse des connaissances récentes (Gosselin, 2004 ; Vallauri *et al.*, 2005) a mis en exergue l'importance écologique et les débats socio-économiques autour du bois mort mais également les lacunes relatives à cet « objet forestier ». Les gestionnaires sont ainsi confrontés à une argumentation scientifique principalement d'ordre qualitatif. Est en effet à pointer le déficit d'éléments opérationnels en forêt tempérée par rapport aux forêts boréales (bases de données, études d'impact…). Près de 60% des publications proviennent d'études conduites dans les forêts boréales du nord de l'Europe et de l'Amérique, dans le sillage des écoles d'écologie forestière suédoise et finlandaise, pionnières dans ce secteur. D'autre part, 80% des articles disponibles sont parus après 2000. En France, avant le projet RESINE, moins d'une dizaine d'articles avaient été publiés.

Le projet RESINE visait ainsi, entre autres, à évaluer, dans un cadre pluridisciplinaire :

- les représentations sociales du bois mort par différents usagers de la forêt (public, forestiers, propriétaires, naturalistes), afin de comprendre la rationalité des conduites et de cerner les conditions d'élaboration de projets collectifs autour de la gestion des arbres morts ;
- la relation entre différents descripteurs du bois mort (volume, qualité, diversité de types) à différentes échelles spatiales (pièce, peuplement, paysage) et la biodiversité saproxylique.

L'enjeu était d'améliorer, dans le contexte biogéographique tempéré ouest-européen, les connaissances sur lesquelles fonder des modalités de rétention du bois mort écologiquement pertinentes et socialement acceptables, et de valider ou de redéfinir les indicateurs de biodiversité fondés sur le bois mort.

Matériels et méthodes

Une approche similaire a été conduite sur deux régions forestières concernant 2 essences d'importance économique majeure : (i) la forêt de pin maritime

(*Pinus pinaster*) des Landes de Gascogne, et (ii) la chênaie de plaine (*Quercus sp.*) du nord de la France, avec l'exemple de la forêt domaniale de Rambouillet. La figure 1 présente les grandes lignes de la méthodologie employée.

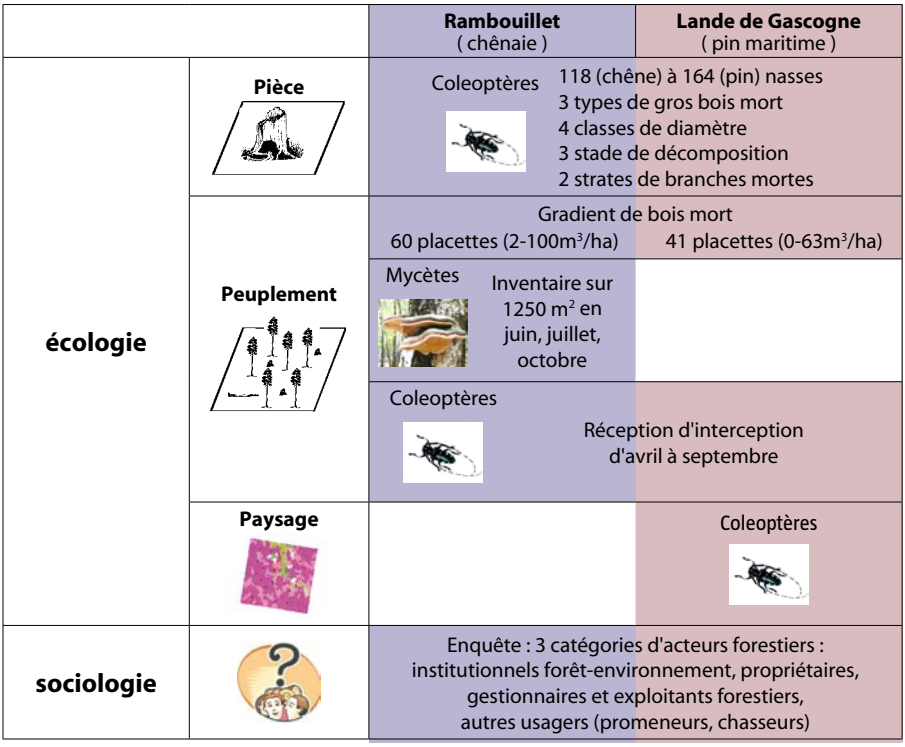


Figure 1. Récapitulatif des méthodes écologiques et sociologiques employées

Les champignons lignicoles et les coléoptères saproxyliques représentent généralement plus de la moitié de la biodiversité saproxylique (Stokland *et al.*, 2004). Nos données confirment que ces groupes saproxyliques sont particulièrement diversifiés dans les 2 massifs étudiés (530 espèces de coléoptères saproxyliques et 270 espèces de Mycètes lignicoles en chênaie, 310 espèces de coléoptères saproxyliques en pineraie). En cours de projet, deux groupes taxinomiques supplémentaires (Bryophytes corticoles, Chiroptères) ont été échantillonnés en sus des Coléoptères et des Mycètes lignicoles sur 30 des 60 placettes du site de Rambouillet.

Résultats, discussion et transfert

Le bois mort en forêt : quelles représentations pour les acteurs forestiers ?

Les résultats de l'enquête sociologique témoignent d'une diversité de pratiques et de représentations en matière de gestion forestière ainsi que des divergences autour des enjeux liés aux bois morts. Les 64 enquêtés se répartissent schématiquement en six groupes (les « forestiers industriels », les « forestiers sylviculteurs », les « forestiers distants », les « forestiers environnementalistes », les « naturalistes » et les « usagers »), qui se différencient entre autres par leurs pratiques de gestion, leur niveau de connaissance et de préoccupation écologiques, leurs réseaux sociaux, leur jugement esthétique, leur perception des risques et leurs impératifs économiques.

Outre le faible engouement suscité par les enjeux de biodiversité, l'enquête sociologique met en exergue le **besoin de données normatives** pour une rétention raisonnée de bois mort tant en quantité qu'en qualité. Toutefois **l'ensemble des acteurs souhaite que ces seuils soient discutés au niveau régional en fonction des contextes forestiers locaux**. Ainsi, alors que la question du maintien de bois morts isolés suscite peu d'opposition, le maintien d'îlots de sénescence est en revanche fortement discuté tant en matière de taille, de légitimité fonctionnelle et de coûts.

Face aux interrogations exprimées par les enquêtés sur la biodiversité associée aux bois morts, le volet écologique de la recherche s'est efforcé d'apporter quelques éléments de réponse sur la relation entre la configuration des stocks de bois morts et différents compartiments de la biodiversité.

Comme Jollivet (2007) l'a souligné à propos d'autres projets interdisciplinaires, l'équipe était animée par le souci de produire des connaissances qui répondent à une exigence d'action, mais sans tomber dans une logique directe d'aide à la décision. En d'autres termes, il s'agissait de se concentrer sur les conditions d'une production négociée de normes visant la gestion-conservation des bois morts, sans viser la production d'une norme. Il ne s'agissait pas de légitimer des choix sociaux, par exemple des mesures de gestion conservatoire des bois morts, à partir des seules données écologiques mais de réintégrer des données, des déterminants voire des contraintes sociales et économiques (Billaud, 2003).

Quelle valeur écologique pour les bois morts ? …Des résultats, aux indicateurs indirects de biodiversité et à la gestion forestière

Notre approche sur 2 types de forêts géographiquement et historiquement distinctes, à plusieurs échelles spatiales, dans 2 types de stations à Rambouillet, et sur plusieurs taxons, livre un lot de résultats plutôt contrastés, qui souligne la difficulté de généraliser des indicateurs simples sur les relations entre variables mésologiques et biodiversité et des normes sylvicoles universelles pour dépasser la seule recommandation d'ordre qualitatif.

Le tableau 1 présente les liens entre richesse spécifique, composition en espèces ou présence d'espèces rares et des descripteurs du bois mort. Certains descripteurs, significativement liés à des variables taxonomiques sont de bons indicateurs-candidats ; les paragraphes suivants précisent les liens entre ces descripteurs du bois mort et la diversité des organismes saproxyliques.

Tableau 1. Réponse de la biodiversité saproxylique locale à différents descripteurs du stock de bois mort
En gris : non testé, en jaune : non significatif, en orange : effet (+) à significativité restreinte (station B de Rambouillet seulement), en rouge : effet (+) significatif

		Richesse spécifique			**Composition**			**Espèces rares**
		Rambouillet		Landes	Rambouillet		Landes	Rambouillet
		Mycètes	Coléoptères		Mycètes	Coléoptères		Coléoptères
Volume de BM	Trés local (< 0,3ha)							
	Local (1 ha)							
	Dans le paysage							
Diversité locale du BM								
Ratio nécromasse/ biomasse								
Volume par type	Chandelles							Abond.
	Souches							
	Très gros BM au sol							
	BM très carié							
	Très petit BM							
	BM du houppier							

Quelle est l'influence relative du volume et de la diversité des ressources locales en bois mort sur la structuration locale des assemblages saproxyliques ?

Plusieurs principes écologiques présument une relation positive entre surface d'habitat favorable ou volume de ressources (par ex. le bois mort) et nombre

d'espèces (relation aire-richesse, loi d'Arrhenius, hypothèse de concentration des ressources…). Nous avons examiné ici le lien entre biodiversité locale et volume local mais également diversité du bois mort[1], qui peut avoir un effet positif sur le nombre d'espèces local.

Dans les deux régions prospectées, les tendances observées ne sont pas vraiment congruentes. Le volume très local et la diversité du bois mort ont des effets élémentaires forts sur la diversité des coléoptères dans les Landes, et significatifs mais faibles sur la diversité des mycètes lignicoles à Rambouillet et sur la diversité des espèces rares de coléoptères saproxyliques. L'effet du volume local et non de la diversité est significatif mais faible sur la diversité des coléoptères dans un seul des 2 types stationnels à Rambouillet, les chênaies-charmaies et non les chênaies claires à fougère aigle.

Le volume et la diversité (nombre de types) étant souvent corrélés par simple effet d'échantillonnage, leurs effets respectifs doivent être examinés ensemble. De fait, à Rambouillet et dans les Landes, après la prise en compte du volume, les différents effets élémentaires de la diversité du bois mort sur les Mycètes et les Coléoptères ne sont plus significatifs.

En conclusion, le volume et la diversité du bois mort local sont donc des indicateurs de biodiversité de qualité variable. **La relation entre volume de ressources et biodiversité est bien moins significative dans la chênaie gérée de Rambouillet que dans les plantations de pin des Landes** (où le meilleur indicateur est basé sur le nombre de types de pièces de bois mort de diamètre supérieur à 15 cm). D'autre part, à Rambouillet, elle est moins valide dans la chênaie claire à molinie et fougère aigle que dans la chênaie-charmaie.

La relation non ou très faiblement significative entre volume local de bois mort et biodiversité a déjà été observée à plusieurs reprises dans les forêts tempérées : dans les hêtraies belges, dans les peuplements mixtes hêtres-résineux en Suisse et dans les Alpes françaises (tableau 2 page suivante). À l'inverse, en forêt boréale, la plupart des travaux antérieurs montrent une relation positive entre densité-diversité des ressources et biodiversité. Comme en forêt des Landes, ces études portent majoritairement sur des écosystèmes résineux homogènes sur de très grandes surfaces. Ces divergences soulignent les risques de l'extrapolation géographique de résultats scientifiques majoritairement obtenus en contexte boréal sur le thème de la biodiversité associée au bois mort en France.

1 – La diversité du bois mort est le nombre de types de bois mort, fondé sur le croisement des attributs suivants : essence, diamètre, stade de décomposition et strate.

Tableau 2. Relations entre le volume ou la diversité du bois mort (BM) et le nombre d'espèces de coléoptères et de champignons saproxyliques. Résultats du projet RESINE et synthèse des principaux résultats observés dans la littérature scientifique en forêt tempérée (+ = effet positif, +/- = effet positif ou négatif selon une variable de contexte, en gris = non étudié, ns = non significatif)

			Effet sur le nombre d'espèces				
			Coléoptères sproxyliques		**Mycètes lignicoles**		
Pays ou région	**Type forestier ou essence dominante**	**Échelle spaciale**	**Diversité BM**	**Volume BM**	**Diversité BM**	**Volume BM**	**Références**
Suisse	*Fagus, Picea*	1 ha		ns			Schiegg, 2000
Alpes françaises	*Fagus, Picea, Abies*		|	ns			Dodelin, 2008
Bavière	*Fagus*	0,1 ha		+			Müller *et al.*, 2008
Belgique	*Feuillus (Fagus)*	0,05 – 1 ha		ns			Fayt *et al.*, 2006
USA	*Quercus*	0,05 ha				+	Rubino, 2003
Landes	*Pinus pinaster*	0,3 ha	+	+			Cette étude
Rambouillet	*Quercus sp.*	0,07 ha	ns	ns	ns	+/-	Cette étude
		0,3 ha		+/-	+/-	ns	
		0,9 ha		+/-	ns	ns	

Quels facteurs invoquer pour expliquer l'hétérogénéité des relations entre ressources et biodiversité ?

La relation entre volume de ressource et biodiversité est donc bien moins significative dans la chênaie gérée de Rambouillet que dans les plantations de pin des Landes, et dans la chênaie claire à molinie et fougère aigle que dans la chênaie-charmaie à Rambouillet.

Toutefois, dans la chênaie claire à fougère, le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques est particulièrement élevé. Cette donnée tend à infirmer l'hypothèse d'une moindre saturation des communautés saproxyliques locales d'un bois mort enseveli dans un tapis de fougère aigle, qui le rendrait moins accessible et attractif pour la colonisation des Coléoptères saproxyliques. Cette valeur reflète peut-être l'effet d'un contexte paysager en moyenne riche en bois mort (*cf.* ci-dessous).

…vers la gestion forestière : une cible de volume ou de diversité de bois mort local comme outil de gestion ?

Dans les limites de représentativité de nos résultats, l'efficacité elle-même d'une augmentation du volume global vers une valeur cible n'est pas validée en chênaie. D'après l'enquête sociologique menée dans le cadre du projet RESINE, les forestiers se partagent entre les partisans d'une norme pragmatique et les réfractaires à

une norme arbitraire. Nos résultats entérinent plutôt l'illusion d'une norme volumique universelle. À l'aune de nos résultats sur la relation entre volume de bois mort et biodiversité, même avec l'exemple des Landes où la relation est la plus significative, quelle cible peut être en effet argumentée ? Rappelons que le WWF suggère pour les forêts françaises une valeur cible à 30 m3/ha (Vallauri, 2005). ***Dans les Landes****, en cas de doublement du volume moyen actuel (de 15 à 30 m3/ha ; Brin et al., 2008), le gain de richesse spécifique locale serait faible.* ***Pour doubler la richesse locale moyenne, il faudrait plus que tripler le volume moyen de bois mort (à 50 m3/ha).*** *N'oublions pas toutefois que ces considérations locales ne tiennent pas compte de la diversité à l'échelle du massif ou de la composition qualitative d'un stock de bois mort de volume croissant.*

Quelle est l'influence des ressources en bois mort dans le paysage sur les assemblages saproxyliques locaux ?

L'analyse des effets sur la biodiversité locale de la densité de ressources à l'échelle locale a été complétée par une étude de l'influence du volume de bois mort à différentes échelles dans le paysage. Dans les Landes, malgré une variation importante de ce volume dans le paysage jusqu'à 400 m autour des placettes (entre 3 et 18 m^3/ha), la quantité de bois mort à cette échelle n'a pas d'effet significatif sur la composition ou sur la richesse spécifique des assemblages de Coléoptères saproxyliques. On peut ainsi supposer que l'approximation de la quantité de bois mort par corrélation à l'âge des peuplements environnants est trop grossière, ou que la capacité de dispersion de la plupart des espèces est supérieure à 400 m. D'ailleurs, Gibb *et al.* (2006) ou Okland *et al.* (1996) n'ont observé un effet du volume de bois mort qu'à très large échelle dans le paysage en Scandinavie. En chênaie à Rambouillet, nous avons montré que **la densité périphérique de réserves biologiques** (un indicateur paysager indirect du volume de bois mort, notamment en raison des forts volumes de bois mort maintenus dans les réserves après la tempête de 1999) **avait un effet positif et significatif sur la richesse saproxylique locale**. Cet effet est plus fort que celui du volume local et maximal à l'échelle de 800 m (200 ha). Il peut expliquer l'absence de relation locale entre ressources et biodiversité dans les chênaies claires (*cf.* ci-dessus).

…vers la gestion forestière : une cible de volume de bois mort dans le paysage ?

Il reste difficile de répondre à des questions comme : « faut-il se donner comme objectif de gestion un volume moyen minimum de bois mort à maintenir sur le territoire ? » ou « faut-il aussi s'assurer que certaines portions de ce territoire contiennent des quantités importantes de bois mort ? ». De fortes disparités dans les capacités de dispersion entre espèces (très variables au sein des Coléoptères

saproxyliques, entre quelques dizaines de mètres et quelques kilomètres) rendent finalement improbable l'identification d'une seule échelle de connectivité du bois mort (Schiegg, 2000) et d'une seule échelle de réponse au niveau des assemblages. Ainsi, au sein d'une même famille (Cerambycidae), l'échelle spatiale de l'interaction habitat-espèce peut varier de 20 m à 1600 m (Holland et al., 2004). Ce constat renforce l'intérêt de pouvoir renseigner la capacité de dispersion des espèces d'un assemblage au moyen d'un référentiel satisfaisant des traits de vie (Bouget et al., 2008).

Quelle biodiversité dans les différents types de bois mort ?

D'après nos données, **la qualité des pièces de bois influence significativement la richesse et la composition des assemblages de Coléoptères et de Champignons saproxyliques**. Sur chêne et pin, les 4 facteurs décrivant les pièces de bois mort étudiées (type, strate, diamètre, décomposition) expliquent une fraction importante de la variance (60% de la variation de la richesse spécifique par lot pour le chêne par ex.). L'intérêt de certains types de bois mort pour la conservation de la biodiversité est confirmé mais partiellement différent dans le chêne et le pin.

La strate des branches mortes du houppier. En comparant les assemblages de coléoptères occupant les branches moyennes et petites, au sol ou dans le houppier, nous avons porté notre attention sur un micro-habitat souvent négligé dans les estimations du bois mort d'un peuplement et à la biodiversité très mal connue. Les assemblages sont résolument différenciés entre les deux strates en termes de composition globale. La richesse cumulée interpolée à effort standard, le nombre d'espèces indicatrices dans le chêne et le pin ainsi que l'abondance et la richesse moyenne des espèces rares dans le chêne sont aussi importantes dans les branches du houppier qu'au sol.

…vers la gestion forestière.

Dans certains peuplements à faible volume de bois mort au sol, mais à fort volume de bois mort suspendu, le bois mort du houppier ne peut donc pas jouer un rôle compensatoire, en raison de la forte différenciation des assemblages occupant les branches mortes perchées ou gisantes, mais il assume une fonction importante pour la diversité saproxylique.

Le stade de dégradation du bois mort au sol. La richesse cumulée est plus importante dans les stades frais pour le pin, dans les stades de décomposition intermédiaires pour les coléoptères du chêne, dans les stades très dégradés pour les champignons lignicoles du chêne. I**l existe des espèces indicatrices à**

tous les stades. La composition des assemblages est significativement différenciée entre les stades, ce qui reflète la succession d'espèces et d'assemblages qui accompagne la décomposition du bois. Depuis les xylophages pionniers jusqu'aux saprophages terminaux, traduisant l'évolution des propriétés nutritives et physiques du bois (Schuck, 2004). Pour le chêne, l'abondance et la richesse moyenne des espèces rares de coléoptères sont équivalentes dans les différents stades de dégradation.

…vers la gestion forestière.

La contribution originale et riche de chaque stade de décomposition renforce l'intérêt de la continuité d'approvisionnement du bois mort…plutôt que des apports massifs ponctuels et des cohortes de bois mort qui se dégradent de concert (Bouget et Brustel, 2008).

La classe de diamètre du bois mort au sol. Pour le chêne comme le pin, pour les coléoptères comme pour les mycètes lignicoles, la richesse cumulée et le nombre d'espèces caractéristiques sont plus importants pour les gros diamètres. Les différences de composition entre les grosses pièces et toutes les autres classes de diamètre sont significatives. Cependant, les grosses pièces n'abritent pas davantage d'espèces rares en abondance et en richesse que les pièces petites et moyennes.

Seulement 20 à 25% des espèces de coléoptères et moins d'espèces rares se retrouvent dans les très petites pièces (diamètre < 5cm). Mais cette classe des débris ligneux fins se caractérise par davantage de coléoptères caractéristiques (en nombre important pour le pin) que les pièces de 10 à 30 cm de diamètre, et une différence de composition significative avec toutes les autres classes de diamètre.

…vers la gestion forestière.

Nos résultats illustrent l'intérêt de conserver notamment des gros bois morts et des très petites branches, à contribution originale. L'intensification systématique des prélèvements de petits rémanents, dans le cadre de l'essor du bois énergie par exemple, pourrait menacer la faune spécialiste associée.

Le type de gros bois mort. Les chandelles de chêne et les souches de pin abritent une plus grande richesse cumulée et un plus grand nombre d'espèces caractéristiques, et davantage d'espèces rares (pour les chandelles de chêne) que les gros bois au sol (*cf.* figure 2).

…vers la gestion forestière.

Un effort particulier doit être dévolu à la préservation des pièces les plus riches, chandelles de chêne et souches de pin. Dans les Landes, la capacité des souches à constituer un habitat de substitution pour une grande partie des espèces de Coléoptères saproxyliques est à souligner dans le contexte du développement du bois énergie et des risques d'exportation des souches.



Figure 2. Quelques micro-habitats clés du bois mort, équipés de nasses d'émergence pour l'échantillonnage de leur faune caractéristique : (a) souche de chêne, (b) gros bois mort gisant de chêne, (c) chandelle de chêne.

Le volume de certains types de bois morts apporte-t-il une contribution significative à la biodiversité ?

On observe des assemblages riches et originaux dans :

- les gros bois morts au sol, dont le volume à l'échelle du peuplement est un facteur déterminant pour la richesse locale des coléoptères en chênaie et en pinède (données des pièges d'interception),

- les chandelles de chêne, dont le volume local n'est pourtant pas déterminant pour la richesse locale des coléoptères, mais pour l'abondance locale des espèces rares,
- les souches de pin maritime, dont le volume local n'est pourtant pas déterminant pour la richesse locale des coléoptères (probablement en raison d'une variance du volume trop faible dans sur les placettes étudiées pour ces deux derniers points).

…vers la gestion forestière.

Diversification des bois morts ou volume objectif pour certains types de bois mort ?

Dans les Landes, la diversification locale des bois morts, c'est-à-dire l'optimisation du nombre de types de pièces de bois mort représente donc une piste de gestion alternative à la gestion volumique du bois mort, piste d'ailleurs évoquée dans l'enquête sociologique par les forestiers eux-mêmes, réfractaires pour certains à une norme arbitraire.

À Rambouillet, une alternative à la recherche d'une cible de volume total de bois mort, réside plutôt dans l'augmentation du volume de certains types de bois morts déterminants pour la biodiversité, sans qu'un volume objectif se dégage ici, comme les gros bois et surtout les chandelles, micro-habitats à la fois concentrateurs d'une biodiversité saproxylique générale, mais aussi hébergeant de nombreux taxa spécifiques.

En chênaie, malgré les faibles effets de la diversité générale des bois morts constatés ci-dessus, un faisceau d'arguments en faveur de la diversité des essences du bois mort émerge des résultats.

L'indicateur de biodiversité fondé sur le volume de bois mort a-t-il un sens en valeur absolue ?

Plusieurs résultats mettent en exergue l'importance de contextualiser le bois mort (effet de la co-variable « densité de peuplement vivant ou de couvert », effet du ratio bois mort/bois vivant par exemple). La combinaison d'informations sur l'environnement local, la quantité et la qualité des ressources permettrait de **construire un indicateur composite susceptible d'améliorer la prédiction de la richesse spécifique**.

L'ensemble des commentaires sur l'application des résultats souligne (i) le hiatus qui demeure entre la production actuelle de connaissances et la production

de normes pour l'action, dépassant les seules recommandations d'ordre général, et (ii) la difficulté de généraliser des indicateurs simples sur les relations entre variables environnementales et biodiversité.

Quelles justifications à la rétention de bois mort ?

Dans l'enquête sociologique, le discours des forestiers traduit l'attente d'une estimation du rapport entre les coûts et les bénéfices de la rétention de bois mort, pour l'écosystème mais aussi pour la sylviculture et l'économie forestière. Transparaissent notamment :

- le besoin d'une justification fonctionnelle de la rétention de bois mort, particulièrement aigu au moment où les propriétaires forestiers envisagent l'exportation des rémanents pour le bois-énergie malgré les risques en matière de fertilité du sol et de biodiversité ;

- le besoin d'une évaluation de la contribution des bois morts à la biodiversité « patrimoniale » ;

- la mise en exergue du manque à gagner mais aussi des contraintes supplémentaires pour éviter la destruction des pièces de bois mort conservées, notamment dans les peuplements jeunes dans les Landes ;

- la faiblesse du risque d'accidents pour la plupart des forestiers, sans commune mesure avec les risques phytosanitaires : l'analyse des sinistres en forêt domaniale en 2003 et 2004 confirme que le risque de chute d'arbres ou de branches associé aux arbres morts ou sénescents est très limité et que les dommages sont majoritairement matériels et de faible gravité ;

- de profondes préoccupations phytosanitaires qui n'étaient pas l'objet de notre étude écologique, mais qui pourraient déjà être clarifiées par un simple effort pédagogique sur les liens entre les bois morts et les quelques espèces de Mycètes (*Fomes* lors de la régénération du pin maritime par ex.) ou d'insectes xylophages à risque. La faune et la flore associées au bois mort sont encore largement perçues comme relevant de la catégorie des ravageurs. La plus-value fonctionnelle des prédateurs de ravageurs est d'autant plus largement ignorée que leur impact en matière de régulation est peu ou pas évalué (*cf.* ci-dessous).

Des bénéfices fonctionnels ?

Le rôle du bois mort à l'égard du maintien de la fertilité des sols (réduction d'acidité des sols et augmentation de la disponibilité des cations) a été montré par ailleurs (Cacot *et al.*, 2006). L'importance de la diversité des coléoptères et champignons décomposeurs dans l'efficacité du processus de recyclage des éléments reste un domaine d'étude à explorer.

Dans nos travaux, le lien entre bois mort et fonctionnement de l'écosystème a été abordé à travers le rôle de renforcement du réservoir de prédateurs auxiliaires du bois mort. En effet, le maintien de bois mort peut-il contribuer à entretenir des populations de prédateurs, déjà en place au moment des catastrophes (les tempêtes par ex.) pour aider à juguler les pullulations de ravageurs (Kenis *et al.*, 2004) ? Cet argument n'est pas très tangible dans nos données. Dans les Landes, mais pas à Rambouillet, on observe une relation significative entre le volume de bois mort total ou frais et la richesse spécifique en prédateurs, mais aucun effet significatif sur l'abondance en prédateurs.

Un intérêt patrimonial ?

À quels types de bois morts sont associées les espèces rares ?

À Rambouillet, **les chandelles de chêne hébergent un nombre d'espèces rares significativement plus important que les autres types de pièces** (comme Sverdrup-Thygeson et Ims, 2002 l'avaient montré en Norvège pour le tremble). Pour le pin comme pour le chêne, manque ici l'analyse de gros bois mort au sol très cariés, connus pour héberger des taxa spécialisés (Siitonen et Saaristo, 2000), mais trop rares dans les forêts prospectés pour être étudiés.

Les espèces rares sont-elles liées au volume et à la diversité des bois morts ?

À Rambouillet, en chênaie-charmaie seulement, le nombre d'espèces rares de coléoptères saproxyliques est favorisé par un volume total, une diversité de bois mort et un volume de chandelles croissants.

Conclusions – Perspectives : quelle stratégie d'acquisition de connaissances supplémentaires ?

De même qu'il est abusif de généraliser les résultats positifs scandinaves dans nos contextes, il serait arbitraire d'extrapoler les résultats obtenus à Rambouillet à l'ensemble des forêts feuillues françaises de plaine, ou ceux des plantations de pin maritime à tous les peuplements résineux. La divergence des résultats observés entre Landes et Rambouillet, et entre les 2 stations en chênaie rambolitaine, renforce l'intérêt de reproduire la double mesure de nécromasse et de biodiversité sur des gradients géographiques et forestiers plus larges ou des

gradients ciblés (gradient de volume de gros bois mort par ex., densité de bois mort dans le paysage)

Ces approches observationnelles seront cependant limitées par les forêts disponibles à l'étude. Le recours à la modélisation et à la simulation et la mise en place d'un réseau de gestion adaptative active du bois mort pourraient permettre de dépasser cette frontière (Davies *et al.*, 2008).

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques

Brin A., Meredieu C., Piou D., Brustel H., Jactel H., 2008. Changes in quantitative patterns of dead wood in maritime pine plantations over time. *Forest Ecology and Management* 256 (5) : 913-921.

Brin A., Brustel H., Jactel H., 2009. Species variables or environmental variables as indicators of forest biodiversity: a case study with saproxylic beetles in maritime pine plantations. *Annals of Forest Science*, 66 (306), DOI: 10.1051/forest/2009009.

Brin A., Bouget C., Brustel H., Jactel H. (submitted). Effects of dead wood diameter on saproxylic beetle assemblages: a case study with pine and oak down woody debris in French managed forests.

Bouget C., Brin A., Brustel H., Büssler H. (in prep.). Exploratory analysis of beetle diversity associated to dead wood in living tree canopies in temperate forests: the high frontier.

Deuffic P. (in prep). Biodiversity Burning. Deadwood, an Environmental issue for Foresters? (revue ciblée : *Human Ecology*)

Bouget C. (in prep.). Dead wood and saproxylic beetle diversity in temperate deciduous forests: is the local volume a relevant surrogate?

Articles techniques

Bouget C., 2007. Enjeux du bois mort pour la conservation de la biodiversité et la gestion des forêts. *Rendez-vous techniques*, 16 : 55-59.

Cordonnier T., Gosselin F. (soumis à la *Revue Forestière Française*). La gestion adaptative : intégrer l'acquisition des connaissances parmi les objectifs de gestion.

Dossier collectif. Le bois mort en forêt, 2009. *Rendez-Vous Techniques*, 25-26 : 17-37.

Participation à des colloques nationaux ou internationaux

Brin A., Brustel H., Samalens J.-C., Piou D., Jactel H., 2006. Dead wood attributes as biodiversity indicators in plantation forests. Communication orale, *Colloque FORSEE project final meeting: Indicators for sustainable forest management in cultivated forests*. Porto, IUFRO Conference, 11-13 décembre 2006.Bouget C., Ricou C., Nusillard B., Moreau P.-A., 2008. Dead wood and saproxylic biodiversity. Dead wood volume and quality in a French managed oakwood context. Communication orale, *5th Symposium and Workshop on the conservation of saproxylic beetles*. Lüneburg(Allemagne), Lüneburg University, 14 juin 2008.

Deuffic P., 2007. Deadwood for biodiversity or energy savings? An environmental dilemma for foresters. *In* ESA, *8th conference of European Sociological Association, Research network 12: Environment and Society*. Glasgow, University of Glasgow, 3-6 septembre 2007, 13 p.

Jactel H., Brin A., Brustel H., Meredieu C., Labbé T., Piou D., 2008. Managing dead wood to conserve biodiversity in plantation forests. Communication orale, *Conference Biodiversity in forest ecosystems and landscapes*. Kamloops (Canada), IUFRO, 5-8 août 2008.

Communications dans les médias

Monchicourt M.-O., Bouget C., 2008. Ne ramassez pas le bois mort de nos forêts... il sert à la Vie ! Rubrique Info Sciences sur France Info, 03/11/2008.

Encart sur le projet RESINE : Didier B., 2007. Portrait d'entomologiste. *Insectes*, 145 (2) : 33-35.

Reportage sur le projet RESINE dans « Les 4 saisons de la forêt », DVD du Centre National de Documentation Pédagogique (à paraître)

Bibliographie

Billaud J.-P., 2003. De l'objet de l'interdisciplinarité à l'interdisciplinarité autour des objets. *Natures Sciences Sociétés*, 11, (1) : 29-36.

Bouget C., 2007. Enjeux du bois mort pour la conservation de la biodiversité et la gestion des forêts. *Rendez-vous Techniques*, 16 : 55-59.

Bouget C., Brustel H., 2008. Continuité des micro-habitats dans l'espace et dans le temps et conservation de l'entomofaune saproxylique. Communication orale, *Colloque Biodiversité, naturalité, humanité*. Chambéry, WWF, 27-31 octobre 2008.

Bouget C., Brustel H., Zagatti P., 2008. The French Information System on Saproxylic Beetle Ecology (FRISBEE): an ecological and taxonomical database to help with assessment of forest conservation status. *Revue d'écologie - La terre et la vie*, n° suppl. 10 : 33-36.

Brin A., Meredieu C., Piou D., Brustel H., Jactel H., 2008. Changes in quantitative patterns of dead wood in maritime pine plantations over time. *Forest Ecology and Management*, 256 (5) : 913-921.

Cacot E., Eisner N., Leon P., Charnet F., Rantien C., Ranger J., Leon P., Nicolleau C., 2006. *La récolte raisonnée des rémanents en forêt*. Guide pratique. Angers, AFOCEL - ADEME, 356 p.

Davies Z.G., Tyler C., Stewart G.B., Pullin A.S., 2008. Are current management recommendations for saproxylic invertebrates effective? A systematic review. *Biodiversity and Conservation*, 17 : 209-234.

Dodelin B., 2008. Aspects of the repartition of the saproxylic beetles in forests (French Alps). In Vignon V., Asmodé J.-F. (eds). Proceedings of the 4th Symposium on the Conservation and Workshop of Saproxylic Beetles, Vivoin (72) / France, 27th-29th June, 2006. *Revue d'écologie, La Terre et la Vie*, n° suppl. 10 : 47-52.

Fayt P., Dufrene M., Branquart E., Hastir P., Pontegnie C., Henin J.-M., Versteirt. V., 2006. Contrasting Responses of Saproxylic Insects to Focal Habitat Resources: The Example of Longhorn Beetles and Hoverflies in Belgian Deciduous Forests. *Journal of Insect Conservation*, 10:129-150

Gibb H., Hjalten J., Ball J.-P., Atlegrim O., Pettersson R.-B., Hilszczanski J., Johansson T., Danell K., 2006. Effects of landscape composition and substrate availability on saproxylic beetles in boreal forests: a study using experimental logs for monitoring assemblages. *Ecography*, 29 : 191-204.

Gosselin F., 2004. Imiter la nature, hâter son œuvre ? Quelques réflexions sur les éléments et stades tronqués par la sylviculture. *In* Gosselin M., Laroussinie O. (eds.), *Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver - Synthèse bibliographique*. Antony (France), Coédition GIP Ecofor - Cemagref Editions, 217-256.

Holland J. D., Bert D. G., Fahrig L., 2004. Determining the spatial scale of species' response to habitat. *BioScience*, 54 : 227-33.

Jollivet M., 2007. Une politique de développement de l'interdisciplinarité : l'action du département des sciences humaines et sociales du ministère de la Recherche (2002-2004). *Natures Sciences Sociétés*, 15 : 81-89.

Kenis M., Wermelinger B., Grégoire J.-C., 2004. Research on parasitoids and predators of Scolytidae. In Lieutier F., Day K.R., Battisti A., Grégoire J.-C., Evans H.F. (eds), *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. Dordrecht (The Netherlands), Kluwer Academic Publishers, 237-290.

Müller J., Büssler H., Kneib T., 2008. Saproxylic beetle assemblages related to silvicultural management intensity and strand structures in a beech forest in southern Germany. *Journal of Insect Conservation*, 12 : 107-124.

Okland B., Bakke A., Hagvar S., Kvamme T., 1996. What factors influence the diversity of saproxylic beetles ? A multiscaled study from a spruce forest in southern Norway. *Biodiversity and Conservation*, 5 : 75-100.

Rubino D., McCarthy B., 2003. Composition and ecology of macrofungal and myxomycete communities on oak woody debris in a mixed-oak forest of Ohio. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 : 2151-2163.

Schiegg K., 2000. Effects of dead wood volume and connectivity on saproxlic insect species diversity. *Écoscience*, 7 : 290-298.

Schuck A., Meyer P., Menke N., Lier M., Lindner M., 2004. Forest Biodiversity Indicator: Dead wood - a proposed approach towards operationalising the MCPFE Indicator. *In* Marchetti M. (Eds), *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe - From ideas to operationality*, Firenze (Italie), EFI, 49-77.

Siitonen J., Saaristo L., 2000. Habitat requirements and conservation status of a boreal old-growth beetle species, Pytho kolwensis Sahlberg (Coleoptera, Pythidae), in Finland. *Biological Conservation*, 94 : 211-220.

Stokland J., Tomter S., Söderberg U., 2004. Development of dead wood indicators for biodiversity monitoring: experiences from Scandinavia. *In* Marchetti M. (Eds), *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe - From ideas to operationality*. Firenze (Italie), EFI, 207-226.

Sverdrup-Thygeson A., Ims R.A., 2002. The effect of forest clearcutting in Norway on the community of saproxylic beetles on aspen. *Biological Conservation*, 106 : 347-357.

Vallauri D., André J., Dodelin B., Eynard-Machet R., Rambaud D., 2005. *Bois mort et à cavités : une clé pour des forêts vivantes*. Paris, Lavoisier Tec et Doc, 404 p.

CORYLUS : INFLUENCE DE LA COMPOSITION ET DE LA STRUCTURE DES MASSES FORESTIÈRES SUR LA BIODIVERSITÉ

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 16 octobre 2006
Montant du budget : 87 932 € HT
Cofinancements obtenus : INRA (8 606 € HT), Région Lorraine (8 361 € HT), IFN (5 400 €), Cemagref (3 839 € HT), MNHN (1 192 €), durée 3 ans.

Coordinateurs

Jean-Luc Dupouey – UMR Ecologie et Ecophysiologie forestières
INRA
54280 Champenoux
Email : dupouey@nancy.inra.fr

Laurent Bergès – UR Ecosystèmes Forestiers, Cemagref
Domaine des Barres 45290 Nogent sur Vernisson
Email : laurent.berges@cemagref.fr

Autres participants au projet

Jean-Guy Boureau, Catherine Cluzeau, Marianne Duprez, Théodora Nedeltcheva, Cyrille Barnérias, Benoît Le Helloco, Pierre Lambert, Claude Mathis (Inventaire forestier national Nogent-sur-Vernisson et Caen), Catherine Avon, Vincent Pellissier, Hilaire Martin (Cemagref), Yves Bas, Frédéric Jiguet (CERSP), Sandrine Chauchard, Evelyne Granier, Elisabeth Bienaimé, Marie-Cécile Schmitt (INRA)

Mots-clés : biodiversité, végétation, avifaune, trait de vie, paysage, étude à grande échelle, histoire, connectivité, fragmentation, mosaïque paysagère, effet lisière, route, gestion forestière, conservation de la nature, base de données, inventaire forestier national

Objectifs des recherches

Ce projet étudie l'influence de la structure spatiale et de la composition des masses forestières sur la diversité de la végétation et de l'avifaune forestière à large échelle et se base sur les données de deux réseaux d'observation nationaux de l'environnement : le réseau des placettes de l'Inventaire forestier national (IFN) pour la flore et le réseau de suivi temporaire des oiseaux communs (STOC) pour les oiseaux. Le projet répond principalement à l'Axe 1-2 de l'appel d'offre : « *Quels rôles jouent la composition et la structure du paysage à dominante forestière sur le maintien et la dynamique de la biodiversité ?* »

L'originalité du projet réside dans l'étendue de la zone d'étude : France entière pour l'avifaune et moitié nord de la France pour la flore. Cette échelle de travail permet de disposer dans l'échantillon d'une très grande variété de situations paysagères et donc de s'affranchir des problèmes posés (mais en partie seulement) par les études habituelles en écologie du paysage, à savoir le faible nombre de répétitions des situations paysagères. La forêt est analysée à la fois comme habitat homogène au sein d'une matrice non forestière et comme mosaïque d'habitats hétérogènes possédant leur propre dynamique au sein du paysage intra-forestier.

Le projet est organisé en 4 volets (les trois premiers concernent la flore et le dernier les oiseaux) :

1– Influence de la lisière forestière et de la taille du massif sur la répartition spatiale des plantes

2– Caractérisation du changement des structures forestières depuis 1830 sur la région Lorraine

3– Influences de la structure et de la composition de la mosaïque des habitats intra et extra-forestiers sur la flore forestière

4– Rôle de la densité de haies sur les oiseaux forestiers à l'échelle de la France entière (points STOC)

Présentation des travaux

Introduction

Les paysages français et européens évoluent constamment et la forêt et ses acteurs y jouent depuis deux siècles un rôle sans cesse croissant. Le compartiment forestier est celui qui évolue le plus rapidement : les chiffres disponibles indiquent que la forêt était cantonnée à 16% des surfaces en 1815 et a plus que doublé en surface aujourd'hui.

L'augmentation des surfaces a un impact important sur la longueur des lisières forestières. Or, les lisières forestières modifient les variables environnementales et biotiques et créent un effet « lisière » qui est ressenti sur une distance plus ou moins longue à l'intérieur de la forêt. Si ce phénomène a été beaucoup étudié, plusieurs questions n'ont pas été abordées jusqu'ici : quelle est la portée maximale de cet effet lisière ? Peut-on dresser une liste fiable de plantes de cœur et de lisière de massif forestier ?

En complément de la quantification de l'effet lisière, la manière dont les masses forestières ont évolué depuis n'a jamais fait l'objet d'étude précise : quel est le taux de changement de la surface ? De quelle manière se produit l'augmentation des surfaces : par nucléation ou par accrétion autour des forêts anciennes ? Peut-on estimer à quelle vitesse se sont déplacées les lisières forestières ? Quelles sont les conséquences sur la flore forestière, et notamment sur les espèces dites de forêts anciennes, à faible capacité de colonisation ?

Jusqu'à présent, les études à l'échelle du paysage ont presque toujours considéré les forêts comme des ensembles homogènes plongés dans une matrice non forestière agricole ou urbaine. La vision des massifs forestiers comme étant eux-mêmes des ensembles hétérogènes d'habitats variés, dont l'organisation spatiale interne pourrait jouer un rôle sur la diversité locale a été peu explorée jusqu'à présent, malgré des signes et quelques études montrant que la distribution des essences, des ouvertures, des classes d'âge ou encore des réseaux de communications (barrières aux flux intra-forestiers) peuvent jouer un rôle significatif dans la dynamique de la biodiversité forestière : quelle est la part expliquée par les facteurs paysagers dans la distribution spatiale des espèces et la composition des communautés végétales au regard des paramètres locaux déterminant la qualité de l'habitat : station, structure et composition du peuplement forestier ? Peut-on identifier des espèces et des groupes de plantes qui sont défavorisés, favorisés ou indifférents à la fragmentation des habitats liée à la gestion des territoires forestiers et non forestiers : taille des masses forestières, fragmentation extra et intra-forestière, répartition des classes d'âge, répartition des feuillus et des résineux, densité de routes ?

La fragmentation des habitats forestiers qui a eu lieu par le passé est un problème majeur car les taches deviennent isolées et cela crée des risques d'extinction locale d'espèces en cas de forte fragmentation. Pour pallier les effets négatifs de cette fragmentation, les corridors tels que les haies peuvent jouer un rôle positif en reliant des taches d'habitats isolées. Les données du réseau STOC d'observation à long terme de l'avifaune ont montré un déclin régulier de certaines espèces, en particulier forestières. Est-ce que la densité des haies dans le paysage a un effet positif sur la dynamique, la richesse et la composition en espèces des oiseaux forestiers ?

Matériels et méthodes

L'analyse des relations entre la biodiversité floristique et ornithologique et les structures paysagères s'est appuyée sur deux grandes sources de données :

- pour la biodiversité : les relevés floristiques et écologiques de l'IFN et les relevés d'avifaune du réseau STOC ;
- pour les indices paysagers : les fonds cartographiques réalisés par l'IFN, les photographies aériennes (BD-Ortho), les cartes Scan-25 et les cartes d'État-major (datant de 1830-1840).

Influence de la lisière et de la taille du massif sur la répartition des plantes (moitié nord de la France)

L'influence de la lisière externe du massif sur la répartition des espèces végétales a été mesurée en utilisant les relevés de l'IFN sur la moitié Nord de la France (52 départements). La distance à la lisière la plus proche du relevé et la taille du massif auquel le relevé appartient par l'IFN ont été calculées sous SIG (Arc-Info) en utilisant les fonds cartographiques de l'IFN. Au total, 19 989 points répartis dans 1801 massifs dont la surface varie entre 325 et 100 000 ha ont été utilisés pour analyser la réponse de 214 espèces végétales.

Des modèles de régression logistique ont été ajustés pour chaque espèce en tenant compte des facteurs locaux (station et type de peuplement) et de la taille du massif. Pour chaque espèce, le meilleur modèle a été utilisé pour déterminer la portée de l'effet lisière.

Changement des structures forestières depuis 1830 (région Lorraine)

L'étude de l'évolution des structures forestières a été effectuée sur un rectangle d'environ 70 x 100 km situé en région Lorraine. Les structures passées ont été acquises à partir de la numérisation et du géoréférencement des cartes d'État-major. La vectorisation des contours des massifs anciens a permis de calculer précisément l'augmentation des surfaces et de caractériser l'évolution de la structure forestière.

Influence de la mosaïque paysagère intra et extra-forestiere sur la diversité floristique (bassin parisien)

L'étude détaillée de la structure et de la composition de la mosaïque paysagère a été menée sur une autre partie de la zone globale d'étude couvrant 15 départements situés dans le bassin parisien. Un total de 1932 points a été sélectionné et le paysage environnant les relevés a été photo-interprété ou analysé sous SIG sur 3 à 4 zones concentriques en utilisant la BD-Ortho, le Scan-25 et les cartes forestières de l'IFN. La surface totale et le nombre de taches des types

d'habitats suivants ont été calculés : landes, espaces ouverts avec et sans façons culturales, zones non végétalisées, milieux aquatiques, clairières, coupes, peuplements jeunes et peuplements adultes, feuillus, résineux, peuplements mélangés, futaie, taillis, mélange futaie et taillis. Ont été aussi mesurées les distances au plus proche type d'habitat et à la plus proche route pour 3 types de routes : chemin, route empierrée et goudronnée.

La réponse de la flore a été analysée à l'échelle du relevé selon trois approches : (1) fréquence de chaque espèce et (2) composition spécifique de la communauté et (3) nombre d'espèces par traits de vie des espèces selon l'habitat préférentiel (espèce forestière à non forestière), le mode de dispersion, la durée de vie ou le poids et la taille des graines. La composition spécifique a été analysée par analyse canonique des correspondances (ACC). Les autres indices ont été traités par modèles linéaires à effets mixtes pour les richesses et par régression logistique pour les espèces et en tenant compte des effets des facteurs locaux (station, climat, peuplement).

Rôle de la densité de haies sur les oiseaux forestiers (France entière)

L'étude du rôle de la densité de haies sur les oiseaux forestiers a été abordée à l'échelle de la France entière sur de larges gradients de fragmentation forestière et de densité de haies. Les analyses ont porté sur 3938 points du réseau STOC.

Quatre indices ont été calculés à l'échelle de la communauté : la richesse spécifique locale, un indice de spécialisation de la communauté vis-à-vis des milieux forestiers, le taux local d'extinction et le taux local de colonisation (en utilisant les inventaires annuels). L'indice de spécialisation de la communauté (CSI) a été calculé comme la moyenne des indices de spécialisation des espèces présentes dans chaque carré, pondérée par les abondances respectives de chaque espèce. L'indice de spécialisation de chaque espèce (SSI) a été calculé à partir de la différence relative d'abondance en forêt et hors forêt (*preferendum*) selon les données STOC. Trois indices paysagers ont été obtenus par photo-interprétation de la BD-Ortho : la surface forestière, un indice de fragmentation et l'isolement du carré (estimée selon le rapport entre la surface forestière du carré STOC et la surface forestière contenue dans un rayon de 5 km autour du point). La densité de haies était basée sur le nombre de haies intersectées par des transects de 1 km autour des relevés IFN à partir des données d'inventaire IFN 2004-2006 (environ 24 transects sur un rayon de 5 km autour de chaque carré STOC).

La réponse des oiseaux a été testée par des modèles linéaires à effets mixtes intégrant comme prédicteurs : les variables climatiques, la surface de forêt, la

fragmentation et l'isolement de la matrice forestière, la densité de haies et l'interaction entre densité de haies, quantité de forêt et isolement, et en prenant le carré STOC en effet aléatoire. Tous les prédicteurs ont été centrés-réduits pour permettre une comparaison de la magnitude des effets.

Résultats et discussion

Influence de la lisière et de la taille du massif sur la répartition des espèces végétales (moitié nord de la France)

Sur les 214 espèces analysées dans ce volet, 106 sont neutres vis-à-vis de la lisière forestière. Sur les 108 autres restantes, 42 des espèces de lisière, 56 sont des espèces de cœur de massif, 7 passent d'un comportement d'espèce de lisière à un comportement d'espèce de cœur lorsque la taille du massif augmente et 5 passent d'espèce de lisière à espèce de cœur dans la même situation (*cf.* figure 1).

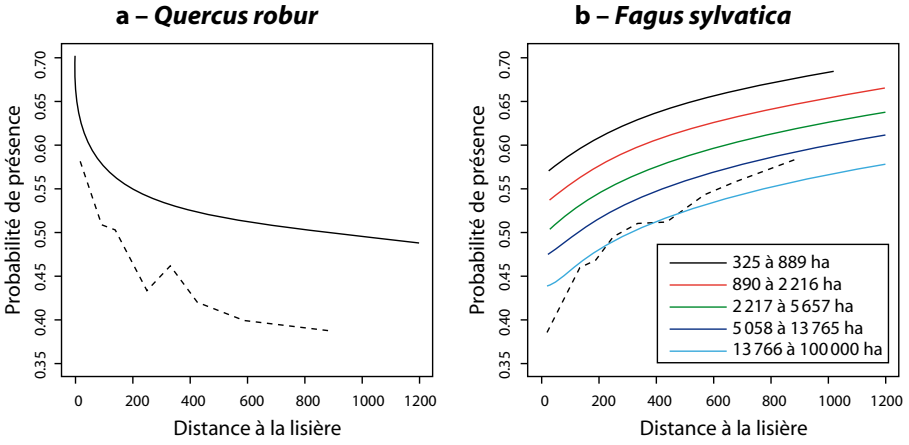


Figure 1. Probabilité de présence du chêne pédonculé (*Quercus robur*) (a) et du hêtre (*Fagus sylvatica*) (b) en fonction de la distance à la lisière, observée (en pointillés) ou modélisée (traits pleins). Les probabilités modélisées sont indiquées pour 5 classes de taille de massif pour le hêtre.

La profondeur de l'effet lisière varie de façon importante en fonction de l'espèce, mais également, pour plusieurs espèces, en fonction de la surface du massif forestier (*cf.* tableau 1 page suivante).

Tableau 1. Préférences de répartition des espèces végétales par rapport à la lisière externe du massif.

Espèces « de lisière »	**Espèces « de cœur de massif »**
Geranium robertianum	*Acer campestre*
Hedera helix	*Brachypodium sylvaticum*
Ligustrum vulgare	*Carex sylvatica*
Prunus spinosa	*Fragaria vesca*
Quercus robur (figure 1a)	*Fagus sylvatica (figure 1b)*
Rosa canina	*Molinia caerulea*
Ulex europaeus	*Vaccinium myrtillus*

Pour toutes les espèces citées, la portée de l'effet lisière dépasse 1000 m, ce qui est considérable. L'effet est si net pour certaines espèces qu'il apparaît même sur la carte de répartition brute de l'espèce, sans être obligé de tenir compte des facteurs locaux (*cf.* figures 2a et 2b pages suivantes).

Cet effet de la lisière se fait ressentir à des distances telles que la seule explication liée à la différenciation de niche (la variation des paramètres abiotiques structure l'organisation spatiale des communautés végétales) ne peut suffire à expliquer cette portée.

Ces distances importantes peuvent être dues à un déplacement de la lisière au cours de l'extension forestière. Ainsi, pour une espèce de cœur, la colonisation de la forêt récente par cette espèce serait moins rapide que celle des arbres en raison de capacité de dispersion de l'espèce limitée. Ceci serait d'autant plus le cas que la forêt aura été installée par voie artificielle. À l'inverse, pour une espèce de lisière, lors de la croissance du massif, l'espèce pourrait suivre le déplacement de la lisière mais le gradient de fréquence s'expliquerait par une disparition lente du milieu suite à la modification de l'habitat et la compétition avec d'autres espèces (les espèces de cœur). Il se pourrait aussi que, pour ces espèces de lisière, la colonisation de la forêt récente se fasse avec un certain retard, ce qui se traduirait par un profil marqué par un maximum de fréquence entre la lisière et le cœur du massif. Ce type de profil de réponse existe sur notre échantillon.

Les profils qui varient selon la taille du massif (espèces de cœur dont la portée diminue avec la surface et espèces de lisière dont la portée augmente avec la surface) peuvent aussi être expliqués par des différences de capacité de dispersion des espèces.

En complément des réponses à la distance à la lisière du massif, nous avons aussi mis en évidence des réponses des espèces à la taille du massif (*cf.* tableau 2).

Tableau 2. Préférence de répartition des espèces en fonction de la taille des massifs.

Espèces associées à de très grands massifs (> 14 000 ha)	**Espèces préférant les petits massifs (< 900 ha)**
Deschampsia flexuosa	*Fagus sylvatica*
Festuca altissima	*Hedera helix*
Fragaria vesca	*Pinus pinaster*
Pinus sylvestris	*Pteridium aquilinum*
Teucrium scorodonia	*Prunus avium*
	Ulex europaeus

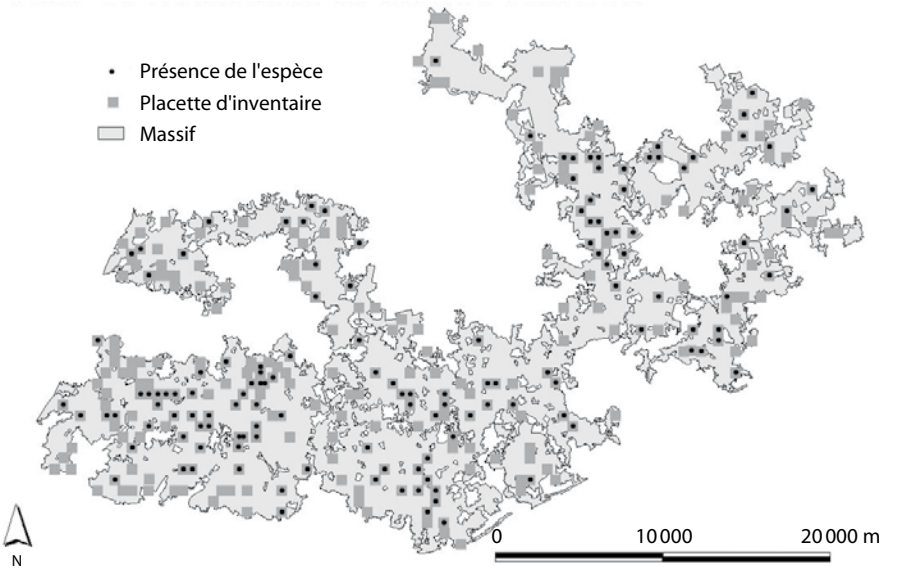


Figure 2a. Répartition de la molinie (*Molinia caerulea*) dans un massif de 45 735 ha à la limite entre l'Indre-et-Loire et le Maine-et-Loire. L'espèce est préférentiellement présente en cœur de massif (comparer avec la figure suivante).

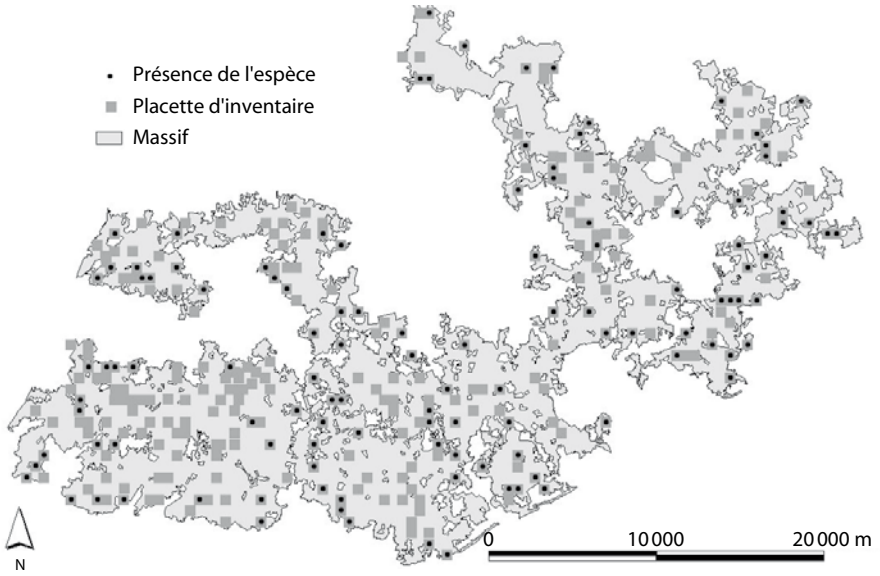


Figure 2b. Répartition du lierre (*Hedera helix*) dans un massif de 45 735 hectares à la limite entre l'Indre-et-Loire et le Maine-et-Loire. L'espèce est préférentiellement présente en périphérie de massif (comparer avec la figure précédente).

Changement des structures forestières depuis 1830 et espèces végétales associées (région Lorraine)

Nous n'avons étudié que deux dates dans la dynamique temporelle des surfaces forestières. Mais trois points importants ressortent de cette étude historique des structures spatiales (*cf.* tableau 3).

Tableau 3. Chiffres clés de l'évolution des structures forestières en région Lorraine entre 1830 et 2000.

Variables considérées	**Valeur**
Taux de la couverture forestière du territoire en 1830 en Lorraine	29,6%
Taux de la couverture forestière du territoire en 2000 en Lorraine	34,6%
Pourcentage des surfaces forestières présentes en 1830 déboisées actuellement	10%
Pourcentage des surfaces des forêts actuelles déjà boisées en 1830	76%
Proportion de forêts anciennes (présente en 1830) par type de propriété :	
- en forêt domaniale	90%
- en forêt communale	88%
- en forêt privée	49%
Pourcentage des forêts actuelles connectées à un massif de forêt ancienne	87%
Distance moyenne à une forêt ancienne des points IFN se trouvant dans les forêts récentes	158 m

(1) La Lorraine apparaît comme un territoire où les forêts anciennes sont encore majoritaires. Le taux d'augmentation de la surface forestière est beaucoup plus faible que la moyenne nationale obtenue d'après les documents d'archives. Cela est très probablement le reflet d'un abandon cultural réellement plus faible qu'ailleurs. Mais ces résultats peuvent aussi remettre en cause la valeur des augmentations de surface forestière avancée jusqu'alors pour l'ensemble de la France. Il faudrait effectuer un travail similaire au nôtre dans des zones supposées à plus forte évolution (moyennes montagnes du sud de la France, par exemple). Cependant, si on extrapole les taux de forêt ancienne observés en Lorraine par type de propriété à toute la France, en se basant sur le pourcentage national de types de propriété, on obtient un taux national moyen pondéré de forêts anciennes de 59,6%, finalement assez proche du taux supposé de 50%.

(2) Il existe une très forte différence de proportion de forêt ancienne selon le type de propriété foncière, dans le sens attendu, mais que nous quantifions exactement pour la première fois. La forêt privée est un territoire labile à moyen terme, susceptible d'échanges importants entre les états cultivé à boisé. Les deux derniers siècles ont surtout vu une augmentation de la surface boisée, mais le mouvement inverse pourrait probablement intervenir à la même vitesse, voire plus brusquement en cas de besoin accru de surfaces cultivées. **Dans ce contexte, les forêts publiques doivent donc être considérées comme la zone de conservation majeure des forêts anciennes de France.**

(3) La connectivité des forêts récentes, apparues depuis 1830, par rapport aux noyaux de forêts anciennes, déjà existantes en 1830, est forte. **L'extension forestière se fait donc majoritairement par accrétion**, plus que par nucléation. Là encore, l'importance relative de ces deux phénomènes était totalement inconnue. Mais il peut s'agir aussi d'une particularité régionale, comme ici la Lorraine, déjà fortement boisées en 1830. Cette continuité écologique est probablement favorable au déplacement des espèces de forêt ancienne. De même, il n'y a pas de fort isolement des forêts récentes dans la matrice des forêts 1830, puisque la quasi-totalité des points d'inventaire IFN sont à moins de 2000 m d'une limite de forêt 1830. Pour les deux raisons précédentes, forte accrétion et faible distance à la forêt 1830 la plus proche, les problèmes de recolonisation forestière et de maintien d'une diversité des espèces liées aux forêts anciennes sont probablement minorés en Lorraine.

Ainsi, nous confirmons l'existence fréquente de lisières « fantômes » à l'intérieur des forêts actuelles, qui explique en partie les corrélations de très longue portée entre distance aux lisières et présence des espèces observées dans le volet précédent.

Influence de la mosaïque paysagère intra- et extra-forestière sur la diversité floristique (bassin parisien)

Les résultats obtenus ne sont pas définitifs, mais trois conclusions peuvent être tirées de ce volet sur le rôle de la mosaïque paysagère intra et extra-forestière sur la flore.

(1) Le poids relatif des facteurs paysagers (14 à 17%) dans l'explication de la réponse des communautés floristiques forestières reste très inférieur à la part expliquée par les facteurs locaux (61 à 64% pour le type de station et le type de peuplement forestier), ce qui signifie que, pour la flore et sur notre échantillon, **la qualité locale de l'habitat prévaut largement sur la structure et la composition de la mosaïque paysagère**.

(2) La magnitude de l'influence du paysage environnant est d'autant plus forte que le paysage est analysé dans une grande zone (rayon maximal de 1 414 m soit 628 ha). Ce résultat est retrouvé dans d'autres publications mais dépasse nettement le rayon maximal de dispersion des plantes forestières ; ce résultat mérite d'être analysé en détail, car des problèmes statistiques peuvent subsister.

(3) Nous avons pu mettre en évidence un triple gradient de composition spécifique associé aux gradients de composition du paysage suivants : le premier oppose les communautés d'intérieur et d'extérieur forestier (lisière versus cœur de massif, déjà identifié plus haut), qui pourrait s'expliquer à la fois par un déplacement de la lisière vers l'extérieur du massif ancien et par l'influence positive sur certaines espèces de la quantité d'habitats ouverts extra-forestiers dans le paysage ; le second oppose des communautés de paysages contenant des stades ouverts et/ou jeunes à des communautés de zones contenant des peuplements plus âgés et en général plus fermés ; le troisième oppose assez nettement des communautés favorisées par des paysages de feuillus et celles associées à des paysages de résineux.

Ainsi, vingt-trois espèces répondent de manière significative à la composition en essences à l'échelle du paysage (tableau 4 et figure 3). Le nombre d'espèces préférant les feuillus ou les résineux à l'échelle du paysage est plus élevé que le nombre d'espèces préférant les feuillus ou les résineux au niveau local.

L'importance relative de ces trois principaux gradients reste à quantifier. En revanche, l'effet de la densité de routes (quelle que soit leur nature) joue un rôle plus limité sur la flore forestière, et plus souvent positif que négatif (tableau 4). Il se pourrait que l'effet des routes soit mal apprécié par la distance proximale et qu'il faille une mesure de densité surfacique pour bien quantifier cette pression humaine ; néanmoins, un travail spécifique mené dans une forêt

de plaine sur des transects perpendiculaires à la route et de 100 m de longueur indique une faible portée d'effet lisière de la route (5 m) dans le cas des routes empierrées.

Tableau 4. Chiffres clés de l'évolution des structures forestières en région Lorraine entre 1830 et 2000.

Nombre d'espèces végétales analysées	214
Nombre d'espèces préférant les lisières ou favorisées par les milieux ouverts avec façon culturales	8
Nombres d'espèces préférant les paysages forestiers et :	41
- Favorisées par la présence de coupes et/ou de peuplements jeunes	23
- Favorisées par des peuplements adultes	3
- Indifférentes	15
Nombre d'espèces ne réagissant pas à la composition du paysage	56
Nombre d'espèces se tenant éloignées des routes	3
Nombre d'espèces fréquemment rencontrées en bord de route (chemins, routes empierrées et goudronnées)	10
Nombre d'espèces préférant les feuillus (à l'échelle du paysage)	17
Nombre d'espèces préférant les résineux (à l'échelle du paysage)	3

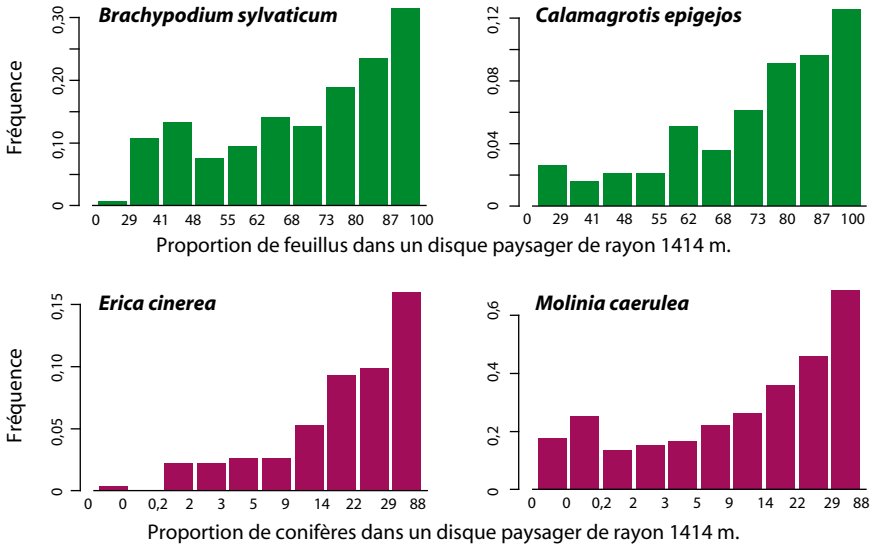


Figure 3. Probabilité de présence observée (a) de Brachypodium sylvaticum et de Calamagrostis epigejos en fonction de la proportion de feuillus dans le paysage (sur un disque paysager de rayon R=1414 m) et (b) de Erica cinerea et Molinia caerulea en fonction de la proportion de conifères dans le paysage (même type de disque).

Rôle des haies sur la diversite avifaunistique (France entière)

En premier lieu, nos résultats confirment que : (1) la surface forestière boisée influence positivement la richesse spécifique (magnitude de 0,39) et favorise les espèces spécialistes forestières (CSI magnitude de 0,45) par rapport aux espèces généralistes et (2) la fragmentation sensu stricto a peu d'effet sur les communautés d'oiseaux forestiers. Nous avons également constaté un effet négligeable de l'isolement forestier sur tous les indices de biodiversité avienne, ce qui suggère que les oiseaux forestiers ne sont pas pénalisés par l'isolement relatif des massifs forestiers français. Cette absence d'effet de l'isolement ne devrait pas pouvoir s'expliquer par une éventuelle dette d'extinction[1], l'essentiel du déboisement en France ayant eu lieu il y a plusieurs siècles.

Par ailleurs, cette étude a surtout montré que la surface forestière et les haies ont un effet sur les taux d'extinction et de colonisation interannuels des espèces d'oiseaux forestiers (magnitude 0,11 et 0,15 respectivement). En effet, comme attendu, la surface forestière stabilise les communautés forestières en réduisant les taux d'extinction et de colonisation. Inversement, **les haies accroissent de manière significative ces paramètres dynamiques, ce qui déstabilise la composition des communautés, et plus particulièrement lorsque la superficie forestière est faible**. Ce constat contredit l'hypothèse selon laquelle l'augmentation de la connectivité améliore la viabilité des populations d'oiseaux forestiers. Il suggère également que les haies stimulent la compétition entre les espèces forestières, probablement en augmentant les mouvements entre massifs forestiers. Toutefois, il n'est pas certain que cette instabilité induite par les haies soit négative pour les oiseaux forestiers, car la densité de haies ne diminue ni la richesse ni le degré de spécialisation de la communauté.

Une étude précédente avait mis en évidence un effet positif des haies sur la richesse spécifique des oiseaux forestiers mais pour de petits massifs (moins de 10 ha). Il est donc possible que, dans un contexte de fragmentation extrême, les haies puissent être bénéfiques aux oiseaux forestiers. Cependant, les communautés d'oiseaux forestiers de ces bosquets et petits bois sont extrêmement pauvres et apportent une contribution négligeable à la conservation de l'avifaune forestière.

Perspectives

L'analyse des effets lisière et taille de massif va se poursuivre par l'étude (prévue dans le projet initial) des effets de l'isolement des massifs forestiers au travers de

1 – La dette d'extinction correspond au délai (plusieurs dizaines d'années parfois) entre la cause de l'extinction (perte d'habitats et fragmentation) et sa conséquence (effet sur la viabilité de la population de l'espèce).

la distance au massif voisin le plus proche sans limite de taille et la distance au massif voisin de plus de 1 000 et 5 000 ha.

Sur les aspects historiques, le travail va maintenant se poursuivre par un croisement direct entre la composition en espèces des relevés de l'IFN et les caractéristiques historiques et écologiques de chaque point afin d'identifier, dans la répartition des espèces ou des communautés, la part respective des effets stationnels et historiques. Nos résultats ont permis de quantifier plus précisément des aspects peu connus de la dynamique forestière. La Lorraine est cependant une région relativement « extrême » en termes de continuité de l'état boisé et de structure foncière, et il serait donc utile de conduire la même étude historique dans une région aux caractéristiques opposées (sud-est de la France, Massif central…).

L'analyse du rôle de la mosaïque extra et intra-forestière sur la flore a été basée sur la composition et la quantité d'habitats disponibles à l'échelle du paysage, mais a peu abordé la structure de la matrice paysagère, sauf au travers des distances proximales. L'analyse sera approfondie par le calcul d'indices tenant compte à la fois de la surface des taches et de la distance de la tache au point, mais aussi de la forme des taches. Les calculs correspondants restent à faire par l'IFN. Par ailleurs, au vu de l'importance (déjà connue) des facteurs locaux liés au type de station et du rôle de la composition en essences à l'échelle du paysage, des approches pourraient être tentées en se basant sur une analyse plus fine de la configuration spatiale des habitats en croisant types de station et types de peuplement. Nous aurions pour cela besoin de cartographies stationnelles sur d'assez grandes surfaces.

Enfin, les travaux sur l'avifaune vont se poursuivre par une analyse approfondie de l'influence de la mosaïque extra et intra-forestière sur l'abondance des espèces d'oiseaux forestiers. Ce travail s'appuiera sur les données cartographiques et de photo-interprétation fournies par l'IFN et devrait permettre une comparaison pertinente entre les réponses des deux groupes taxonomiques (oiseaux et flore).

Acquis en termes de transfert

Effets « lisière » au sein des massifs

Nous identifions pour la première fois des listes d'espèces végétales préférant les cœurs de massif. Contrairement à ce qui est généralement annoncé dans la littérature, nous avons observé des **« effets » à très longue distance de la lisière sur la présence des espèces végétales** (de l'ordre du kilomètre plu-

tôt que de la centaine de mètres). Ce résultat a des conséquences importantes en termes de gestion de la biodiversité à l'échelle territoriale. En particulier, les aménagistes devraient commencer à prendre en compte ces éléments aux échelles les plus larges de la gestion, c'est-à-dire les départements, les régions et les directions régionales des institutions d'État, en établissant par exemple des cartes de zones de cœur versus périphérie de massif et des inventaires statistiques de la proportion relative des surfaces de ces deux types de forêts.

Dynamique à long terme des masses forestières

Ce travail confirme l'importance, pour la gestion de la biodiversité, de distinguer les forêts anciennes et les forêts récentes dans le paysage actuel. La connaissance de cette subdivision permet de mieux appréhender le comportement d'un large nombre d'espèces végétales, préférant l'un ou l'autre type de forêt. Par extension à partir de travaux plus ponctuels, on peut raisonnablement penser que de nombreux autres biotas sont affectés par cette dichotomie (insectes, champignons, bactéries…).

Notre travail ouvre de nouvelles perspectives sur les rôles respectifs de la forêt publique et de la forêt privée. En particulier, il renforce la vision « sanctuariste » d'une forêt publique qui serait la principale garante de la continuité forestière à long terme et, en conséquence, conforte la responsabilité de l'Etat dans la conservation des milieux forestiers. En contrepartie, il pose la question du maintien des forêts anciennes dans les bois privés.

Ce travail a permis de valider l'intérêt des minutes au 1 : 40 000 couleur de la carte d'État-major dans l'objectif de caractériser l'état de l'utilisation du sol dans la première moitié du XIX^{e} siècle, c'est-à-dire autour de la date du minimum de surface forestière.

Nous avons pu évaluer la précision exacte de cette carte, une fois géoréférencée, et le coût d'acquisition de cette couche pour intégration dans un système d'information géographique (SIG). Sa précision est de 30 m environ, ce qui est de très bonne qualité (moins de 1 mm sur la carte d'État-major initiale). On pourra donc directement utiliser cette carte ancienne dans des calculs ultérieurs sous SIG avec une certaine fiabilité. Il faut compter 2 semaines de travail d'un technicien pour l'acquisition des contours et le géoréférencement précis (plus de mille points de repère par carte) d'une feuille de 20 x 32 km. Ce travail pourrait bien sûr être accéléré en ne considérant que les contours des forêts anciennes, et en exigeant une précision moindre de géoréférencement. Mais ce n'est pas vraiment un gain, car on perd les informations sur les autres usages du sol.

Concrètement, ce travail a permis de générer la carte de l'usage des sols en 1830 de l'ensemble de la Lorraine, au 1 : 40 000, avec 6 types d'usages principaux : forêts, terres labourables, prairies, vignes, vergers et habitat. Cette carte est utilisable par tous les gestionnaires qui souhaiteraient intégrer cette connaissance dans leur réflexion. Il reste à mettre en place les moyens d'une extension à l'ensemble de la France de la réalisation de cette carte des masses forestières 1830.

Rôle de la mosaïque d'habitats en forêt

Le fait de trouver que la qualité de l'habitat local pour la flore prévaut largement sur la composition et la configuration des habitats à l'échelle du paysage implique pour les gestionnaires que **la priorité est de bien gérer localement la biodiversité**, par des pratiques de gestion à l'échelle du peuplement ou de la parcelle. Cependant, ce résultat ne vaut sans doute pas pour d'autres taxons plus mobiles comme les oiseaux et ne signifie pas que le paysage ne joue pas un rôle important pour certaines plantes. Ainsi, le second résultat portant sur le fait que le rayon d'action du paysage a d'autant plus d'influence qu'il est grand (jusqu'à 630 ha) peut se traduire en recommandant de raisonner les choix de gestion à l'échelle de l'aménagement forestier voire même au-delà, puisque la biodiversité en forêt est influencée en partie par le paysage en dehors de la forêt.

Le fait que les paysages contenant des milieux ouverts intra-forestiers (coupes de régénération, fourrés, gaulis, jeunes et très jeunes plantations, clairières, trouées de chablis) aient un effet positif pour plusieurs espèces, y compris des espèces forestières (n=23) alors que peu d'espèces sont favorisées par des paysages composés de peuplements adultes (n=3) signifie qu'une partie importante de la flore forestière se maintient par les ouvertures aussi bien à l'échelle locale que paysagère. Ces ouvertures intra-forestières sont des sources potentielles de graines à l'échelle du paysage et alimentent donc la flore locale. Néanmoins, nous n'avons pas testé pour l'instant de modèles de forme polynomiale (c'est-à-dire avec une valeur optimale pour le taux d'ouvertures paysagères) : ces modèles permettraient de détecter pour quelles espèces il existerait une valeur optimale de proportion de milieux forestiers ouverts à semi-ouverts dans le paysage et quel serait le seuil au-delà duquel l'effet deviendrait négatif pour ces espèces.

Nous identifions aussi pour la première fois une vingtaine d'espèces préférant les paysages composés exclusivement de feuillus (ou de résineux), puisque plusieurs espèces sont d'autant plus fréquentes que le paysage est composé d'un

taux élevé de feuillus (ou de résineux). Là aussi, notre analyse est sans doute limitée par le fait que nous n'avons pas testé de modèles de forme polynomiale permettant de détecter un seuil optimal de mélange. Néanmoins, en termes de gestion, nos résultats indiquent déjà qu'une partie de la biodiversité préfère les paysages très homogènes sur le plan de la composition en essences. Cela signifie que **la recherche de l'hétérogénéité des types d'essences à l'échelle du paysage n'est pas une règle absolue**.

En revanche, le **faible impact des routes observé sur les plantes forestières** tend à minimiser le rôle des routes et contredit les effets négatifs signalés dans la littérature (fragmentation des habitats, barrière à la dispersion), au moins pour les espèces végétales.

Les habitats ouverts intra-forestiers et les jeunes peuplements ne sont pas cartographiés par l'IFN et sont, à de rares exceptions près, rattachés au type de peuplement adulte correspondant. La composition en essences gagnerait aussi à être affinée par type d'essences car il manque une typologie nationale fine des essences majoritaires pour les mélanges futaie et taillis, très fréquents en plaine. Le réseau de routes pourrait être cartographié par catégorie, de manière à calculer des densités surfaciques.

En intégrant ces nouveaux éléments paysagers, la cartographie de l'IFN pourrait ainsi devenir plus fonctionnelle au plan écologique. Cependant, le travail de photo-interprétation constitue un facteur limitant pour une cartographie à large échelle de ces nouveaux éléments. L'utilisation déjà engagée des logiciels de segmentation des images pourraient à terme réduire le temps d'acquisition de ces données. Dans ce cadre, il serait intéressant de rassembler sous SIG toutes les cartes des types de peuplement réalisées par l'ONF en forêt soumise lors des aménagements.

À l'heure actuelle, la réflexion n'est pas encore assez mûre pour proposer de nouveaux indices paysagers ou affiner ceux existants.

Rôle des haies pour l'avifaune

Cette étude a montré qu'il n'y a pas d'effet positif, en forêt, des haies sur les oiseaux forestiers. Ainsi, augmenter la connectivité des forêts par le biais des haies ne semble pas pertinent pour la conservation des oiseaux forestiers. Il est possible que les haies puissent être des corridors efficaces pour d'autres taxons comme les invertébrés, mais la preuve d'une répercussion positive sur les populations fait encore défaut. Par conséquent, l'entretien des haies et les incitations à en replanter devraient être plus motivés par la conservation des espèces agricoles ou par la conservation d'autres taxons forestiers.

L'une des conclusions de notre étude est que la politique de développement des trames vertes et bleues, l'un des chantiers importants de la biodiversité en France, nécessite des études scientifiques plus approfondies, biota par biota, afin de mieux anticiper et contrôler ses effets. Ces études sont en très faible nombre aujourd'hui et consistent pour la plupart en une mise en évidence de mouvements accrus d'individus ou de propagules via ces corridors. Notre étude met en évidence que ce mouvement accru n'a pas forcément de répercussions positives sur les populations. Nous soulignons donc qu'il existe un décalage important entre la connaissance scientifique réelle concernant le rôle de ces linéaires dans les paysages et la façon dont ils ont été appréhendés par les gestionnaires de l'environnement.

Liste des principales valorisations das recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Avon, C., Bergès L., Dupouey J.-L. (en projet). Respective influence of local, spatial and landscape factors on forest plant composition using forest inventory data.

Avon, C., Bergès L., Martin, H., Dupouey J.-L. (en projet). Role of the composition and structure of the surrounding landscape on plant species occurrence and functional groups richness in forests at a regional scale.

Avon, C., Bergès L., Martin, H., Dupouey J.-L. (en projet). Influence of past land use and past lansdcape context on the present forest plant biodiversity: a case study in Northern France.

Bas Y., Jiguet F. (en préparation). Hedgerows influence woodland birds community dynamics but do not favour their conservation.

Pellissier V., Dupouey J.-L., Bergès L. (en préparation). Very long-distance edge effect restricts a large number of plant species to core forest area. Revue ciblée : *Global Ecology and Biogeography*.

Pellissier V., Dupouey J.-L., Bergès L. (en projet). The spatial structure of forest plants at a national scale: the effect of the forest patch size, distance to the external forest edge and distance to the nearest large forest patch.

Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation

Boureau J.-G., Foyer-Bénos C., Lucas S., 2005. Le paysage forestier vu du ciel. L'IF, 10 (Document téléchargeable sur http://www.ifn.fr).

Dupouey J.-L., Bachacou J., Cosserat R., Aberdam S., Vallauri D., Chappart G. et Corvisier de Villèle M.A., 2007. Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. *Le Monde des Cartes*, 191 : 85-98.

Participations à des colloques nationaux ou internationaux

Avon C., Bergès L., Dumas Y., Dupouey J.-L., 2007. Rôle des routes forestières sur la flore : effet de la distance à la lisière routière sur la diversité floristique de peuplements de chênes en forêt de plaine. Communication orale, *Colloque Le paysage à l'interface des activités agricoles et forestières, 4èmes journées de l'Association Française d'Écologie du Paysage*. Toulouse, IALE France, 20-23 novembre 2007.

Boureau J.-G., 2006. The French National Forest Inventory. A valuable information system for studying biodiversity and landscape changes. Communication orale, *Colloque Understanding biodiversity loss. A workshop on forest fragmentation in south America*. Bariloche, Cemagref-Universidad nacional del Comahue, Argentine, 26-30 juin 2006.

Boureau J.-G., Barnerias C., Cluzeau C., Le Helloco B., Nedelcheva T., Avon C., Bergès L., Bas Y., Jiguet F., Dupouey J.-L., Granier E., 2007. Influence de la composition et de la structure des masses forestières sur la biodiversité : le projet Corylus. Communication orale, *Colloque Le paysage à l'interface des activités agricoles et forestières, 4èmes journées de l'Association Française d'Écologie du Paysage*. Toulouse, IALE France, 20-23 novembre 2007.

Dupouey J.-L., 2007. Influence du changement climatique sur la place et les fonctions environnementales de la forêt dans les paysages. Communication orale, *forum avec les Professionnels, La forêt dans les paysages et les territoires de demain dans le cadre du Colloque Le paysage à l'interface des activités agricoles et forestières, 4èmes journées de l'Association Française d'Ecologie du Paysage*. Toulouse, IALE France, 21 novembre 2007.

Rapports de fin d'étude

Bas Y., 2009. Décomposition des effets des changements des paysages et des pratiques d'exploitation sur la biodiversité des milieux agricoles et forestiers. Thèse de doctorat, Paris, Université Pierre et Marie Curie, 152 p.

Etienne C., 2008. Milieu et réorganisation territoriale des activités agricoles à long terme dans le bassin versant du Madon : 1830-2002. Deux siècles de dynamique agraire. Rapport de Master 2 GGC, Nancy, INRA-Université de Nancy, 40 p.

Kartner E., 2009. Analyse des relations entre l'histoire de l'occupation des sols et la biodiversité des forêts actuelles. Rapport de stage de Master 1, Nancy, Université de Nancy, 23 p.

Le Helloco B., 2007. Construction et analyse d'indicateurs de l'organisation spatiale de la forêt. Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure d'Ingénieurs et de Techniciens pour l'Agriculture, 80 p.

Autres

Dupouey J.-L., Cosserat R., Bachacou J., Favre C., 2008. Géoréférencement des minutes de la carte d'État-major au 1 : 40 000. Rapport d'étape basé sur l'étude de 24 feuilles, Nancy, INRA-IGN, 10 p.

Diversité fonctionnelle des arbres et réponse de l'écosystème forestier aux changements climatiques

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : 7 novembre 2005
Montant du budget : 59 800 € TTC
Cofinancements obtenus : INRA, 92 355 € TTC, 3 ans.

Coordinateur

Hervé Jactel, Directeur de Recherches, Laboratoire Entomologie Forestière & Biodiversité, UMR 1202 BIOGECO, Biodiversité, Gènes, Communautés.
INRA – Université Bordeaux 1
F-33610 Cestas
Email : herve.jactel@pierroton.inra.fr

Autres participants au projet

Annabel Porté, Corinne Vacher, Marie-Laure Loustau, Cécile Robin, Sylvain Delzon (INRA – Université Bordeaux 1), Patrick Pastuszka (unité expérimentale de Pierroton, INRA)

Mots-clés : biodiversité, forêt, fonctionnement, insectes, champignons, productivité, résilience, traits, phénologie, changement climatique

Objectifs des recherches

L'objectif principal de ce projet est la constitution d'un dispositif expérimental permettant l'analyse à long terme de la relation entre biodiversité et fonctionnement des forêts dans un environnement changeant. Précisément, il vise à mieux comprendre le rôle de la diversité des essences forestières dans le maintien des fonctions écologiques des forêts soumises au changement climatique.

En particulier le dispositif « ORPHEE » est établi pour apporter des réponses aux trois questions suivantes :

1– La relation entre diversité des essences forestières et fonctionnement des forêts dépend-elle du nombre des espèces en mélange (richesse spécifique) ou de la composition des assemblages d'espèces (identité des essences en mélange) ?

2– Comment le fonctionnement des écosystèmes forestiers est-il influencé par la diversité phénologique des arbres (mélange d'essences sempervirentes ou feuillues, à débourrement précoce ou tardif) dans un contexte de changement climatique ?

3– À quelles échelles temporelles interviennent les effets du changement climatique (effet des tendances à long terme ou des épisodes catastrophiques) sur le fonctionnement des peuplements forestiers (aux stades jeunes ou adultes) de diversité fonctionnelle variable ?

Présentation des travaux

Introduction

Le changement climatique et l'érosion de la biodiversité sont probablement les deux plus importants défis environnementaux posés à la planète. Or ces deux phénomènes ne sont pas indépendants, puisque les modifications du climat peuvent menacer la survie des espèces alors qu'à l'inverse la biodiversité est considérée comme une assurance pour le fonctionnement durable des écosystèmes en cas de perturbation. Les forêts abritent la majeure partie de la biodiversité terrestre et les essences forestières, par leur capacité de stockage de biomasse, tiennent une place essentielle dans le cycle du carbone. Il apparaît donc important de mieux comprendre la relation biodiversité - fonctionnement des écosystèmes forestiers, d'analyser comment le changement climatique influe sur la composition des forêts et donc de prévoir l'effet du changement climatique sur la productivité des forêts.

Des travaux récents ont tenté de prédire l'évolution de la composition des forêts dans le contexte du changement climatique mais ils se sont surtout fondés sur l'écologie des espèces, prises une à une, sans analyser la réponse d'assemblages de plusieurs essences. Ils n'ont pas non plus pris en compte les capacités d'adaptation des essences forestières à ces perturbations ni le rôle des interactions avec les bio-agresseurs dont l'impact pourrait augmenter avec le réchauffement, accentuant le risque d'extinctions. De même les études qui

indiquent que la biodiversité est une condition favorable à la productivité des écosystèmes s'attachent surtout à des comparaisons entre peuplements purs et peuplements associant deux ou trois essences. Elles n'intègrent pas non plus l'effet de la diversité des arbres sur la dynamique des insectes ravageurs et des champignons parasites. Elles se bornent enfin à établir des bilans à court terme et dans des conditions environnementales peu variables.

La phénologie du débourrement et la durée du stade feuillé constituent des variables d'ajustement du développement des arbres aux fluctuations du climat. Ces mêmes variables conditionnent l'activité photosynthétique à long terme et donc les capacités de stockage de carbone chez les arbres. Enfin la synchronisation entre débourrement des arbres et présence des chenilles défoliatrices ou spores infectieuses détermine en grande partie l'intensité des dégâts par les bio-agresseurs. La diversité des forêts en termes de phénologie apparaît donc comme une caractéristique essentielle à étudier pour pouvoir prédire la réponse des écosystèmes forestiers aux changements climatiques, aussi bien en termes de modification de leur composition que de changements de productivité.

Les observations réalisées lors des inventaires forestiers peuvent difficilement établir les liens de causalité entre productivité et composition des forêts, du fait de l'existence de facteurs confondus comme les conditions stationnelles ou l'histoire et la gestion des forêts. Par ailleurs seules des études à long terme permettent de distinguer les effets des aléas météorologiques et ceux du changement progressif du climat sur le fonctionnement des forêts tout au long de leur cycle de développement. La constitution de dispositifs expérimentaux à long terme, dans lesquels différents niveaux de diversité des essences forestières sont comparés dans des conditions stationnelles et des modes de gestion identiques, apparaît donc comme une approche nécessaire pour **comprendre les mécanismes impliqués dans la relation entre biodiversité et réponse des forêts aux changements climatiques**.

Matériels et méthodes

Dans le dispositif ORPHEE, nous avons choisi de comparer le fonctionnement de tous les mélanges réalisables à partir d'un ensemble de cinq essences forestières. Ces essences ont été choisies en fonction de leur développement foliaire (phénologie) et de leur capacité de croissance en région Aquitaine :

- *Quercus robur*, première essence française, présente une grande variabilité de la date du débourrement et une sensibilité importante probable au changement climatique,

- *Quercus pyrenaica*, est une essence autochtone en Aquitaine, répandue en sous-bois de pin maritime, elle présente le débourrement le plus tardif des chênes caducifoliés du sud de la France et semble plus résistante à la sécheresse,
- *Quercus ilex*, la plus répandue des espèces de chêne sempervirente, est susceptible d'une large extension de son aire de répartition avec le changement climatique,
- *Betula pendula*, essence autochtone en Aquitaine, est pionnière dans le cycle sylvogénétique, et présente un débourrement plus précoce que les chênes,
- *Pinus pinaster*, autre essence sempervirente mais conifère, est très répandue et autochtone en Aquitaine.

Il existe 31 compositions possibles à 5 espèces associant 1, 2, 3, 4 ou 5 espèces. Nous les avons toutes testées (*cf.* tableau 1). Les mélanges sont testés sous forme de placettes unitaires (PU) de 100 plants (10 lignes × 10 plants) et les distances entre plants sont de 2 m soit des PU de 0,04 ha en surface. Chaque mélange est répété 8 fois, dans 8 blocs distincts. Chaque bloc comprend les 32 mélanges (le 31ème étant répété deux fois pour la rectangularité du dispositif) avec une distance de 3 m entre les placettes unitaires. Les différentes essences sont disposées de façon régulière à l'intérieur des PU et les mélanges ont été positionnés de façon aléatoire à l'intérieur des blocs.

Au total le dispositif ORPHEE s'étend sur 12 ha avec 256 placettes unitaires et 25 600 arbres.

Résultats

Le site d'installation du dispositif ORPHEE est situé à 1 km de la station de recherche forestière INRA de Pierroton, au lieu-dit Castillonville. Les terrains sont à la propriété du conseil général de Gironde et gérés par l'INRA (sous convention).

Les 8 parcelles nécessaires à la plantation ont été exploitées (coupe rase) et dessouchées fin 2007. 120 kg de P et 120 kg de K ont été appliqués par hectare pour favoriser l'installation et la reprise des plants. Les parcelles ont ensuite été labourées et égalisées par trois passages de cover-crop. Après piquetage pour marquer la place de chaque plant, la plantation a commencé le 15 janvier 2008 et s'est achevée le 22 février 2008. Un grillage a été installé autour du dispositif pour protéger les plants des attaques de chevreuil.

Tableau 1. Composition en essences des 31 mélanges testés

Mélange	Composition				
1	*Betula pendula*				
2	*Quercus robur*				
3	*Quercus pyrenaica*				
4	*Quercus ilex*				
5	*Pinus pinaster*				
6	*Betula pendula*	*Quercus robur*			
7	*Betula pendula*	*Quercus pyrenaica*			
8	*Betula pendula*	*Quercus ilex*			
9	*Betula pendula*	*Pinus pinaster*			
10	*Quercus robur*	*Quercus pyrenaica*			
11	*Quercus robur*	*Quercus ilex*			
12	*Quercus robur*	*Pinus pinaster*			
13	*Quercus pyrenaica*	*Quercus ilex*			
14	*Quercus pyrenaica*	*Pinus pinaster*			
15	*Quercus ilex*	*Pinus pinaster*			
16	*Betula pendula*	*Quercus robur*	*Quercus pyrenaica*		
17	*Betula pendula*	*Quercus robur*	*Quercus ilex*		
18	*Pinus pinaster*	*Quercus robur*	*Betula pendula*		
19	*Quercus ilex*	*Quercus pyrenaica*	*Betula pendula*		
20	*Quercus pyrenaica*	*Pinus pinaster*	*Betula pendula*		
21	*Pinus pinaster*	*Betula pendula*	*Quercus ilex*		
22	*Quercus robur*	*Quercus pyrenaica*	*Quercus ilex*		
23	*Quercus robur*	*Pinus pinaster*	*Quercus pyrenaica*		
24	*Quercus ilex*	*Quercus robur*	*Pinus pinaster*		
25	*Quercus pyrenaica*	*Quercus ilex*	*Pinus pinaster*		
26	*Betula pendula*	*Quercus robur*	*Quercus ilex*	*Quercus pyrenaica*	
27	*Quercus robur*	*Pinus pinaster*	*Betula pendula*	*Quercus pyrenaica*	
28	*Pinus pinaster*	*Quercus robur*	*Betula pendula*	*Quercus ilex*	
29	*Pinus pinaster*	*Quercus pyrenaica*	*Quercus ilex*	*Betula pendula*	
30	*Quercus pyrenaica*	*Pinus pinaster*	*Quercus ilex*	*Quercus robur*	
31	*Betula pendula*	*Pinus pinaster*	*Quercus pyrenaica*	*Quercus ilex*	*Quercus robur*

En été 2008, un entretien du sous-bois herbacé a été réalisé entre toutes les PU et entre les lignes par gyrobroyage. Un fichier avec les coordonnées de tous les plants a été construit. En automne 2008, des notations de mortalités des plants ont été effectuées. Elles sont élevées à 4,5% en moyenne avec 15% pour *Q. ilex*. Les regarnis correspondants ont été réalisés en 2009 à l'aide de plants de même origine, conservés en jauge à la pépinière INRA de Pierroton sauf pour *Q. ilex* pour lequel des glands supplémentaires avaient été semés.

À la suite de la tempête du 24 janvier 2009, les clôtures endommagées par des chutes d'arbres ont été réparées.

Perspectives

En 2008, nous avons obtenu de la mission climat de l'INRA une subvention pour financer l'installation d'un système de forage sur le site. Nous utiliserons cette alimentation en eau pour contrôler une partie des conditions climatiques. Sur la moitié du dispositif ORPHEE (4 blocs sur 8) nous compenserons l'éventuel déficit hydrique de façon à rétablir un niveau équivalent à la moyenne des précipitations observées, chaque mois, lors des cinquante dernières années en région Aquitaine. Nous pourrons ainsi comparer un niveau « témoin » (les placettes irriguées) avec un niveau « changement climatique » correspondant à l'évolution actuelle et future des précipitations. Pour simplifier les opérations d'arrosage, les apports d'eau seront faits systématiquement, sans tenir compte des précipitations réelles observées le mois précédent.

Dans le cadre du réseau d'excellence européen EVOLTREE (2006-2010), coordonné par l'INRA (UMR BIOGECO), nous avons obtenu le financement pour réaliser un dispositif analogue de ORPHEE mais à l'échelle infraspécifique. Il vise à mieux comprendre le rôle de la **diversité génétique** des essences forestières dans le maintien des fonctions écologiques des forêts soumises au changement climatique. Il s'intéresse à l'effet de l'identité des génotypes et de leur nombre sur le fonctionnement primaire et la résistance des populations d'arbres aux ravageurs et pathogènes. Ce dispositif se focalise sur le chêne pédonculé (*Q. robur*). En 2007 des glands ont été récoltés sur 4 arbres (pieds mères) et semés en pépinière, de façon à constituer 4 familles de demi-frères. Ces familles ont été plantées au printemps 2009 selon un schéma analogue à celui d'ORPHEE en parcelle unitaire correspondant à des monocultures ou à des mélanges de 2, 3 ou 4 familles. Les 15 mélanges possibles seront testés dans des parcelles unitaires de 12 plants répétées 6 fois (6 blocs).

Les mêmes notations de mortalité, croissance, et phénologie des plants de

chênes ainsi que des niveaux de dégâts par les insectes ravageurs que dans le dispositif ORPHEE seront réalisées dans ce dispositif de façon à permettre la comparaison des résultats. Nous pourrons ainsi comparer la réponse du fonctionnement des forêts de chêne pédonculé à la diversité à des niveaux différents (intra et inter spécifique) et vérifier si les mécanismes explicatifs se maintiennent selon que le gradient de diversité concerne les espèces ou bien les génotypes.

Le projet ORPHEE s'intègre désormais à un réseau international de dispositifs expérimentaux conçus pour tester l'hypothèse de la relation diversité – productivité des forêts. Ils fonctionnent sur le même principe de contrôle combiné de l'identité et du nombre d'essences en mélange. Ce réseau Tree-Div-Net est composé de 10 sites expérimentaux dans 6 pays, à la fois en Europe (Finlande, Allemagne, France) et dans les régions tropicales (Chine, Panama, Bornéo). Au total 920 placettes, couvrant plus de 650 ha, ont été plantées pour établir des gradients de diversité spécifique et fonctionnelle. Pour les 4 prochaines années, les activités de recherche menées dans ce réseau seront soutenues financièrement par le projet européen (FP7) BACCARA coordonné par H. Jactel (UMR BIOGECO). Ce projet « Biodiversity And Climate Change, A Risk Analysis » a pour objectif d'estimer les effets du changement climatique sur la diversité spécifique des forêts et la biodiversité des insectes et champignons associés, de vérifier la relation entre diversité et productivité primaire des forêts et d'en déduire une estimation du risque de dysfonctionnement des forêts en cas de changement climatique.

Conclusions

La mise en place du dispositif ORPHEE, financé par le programme biodiversité et gestion forestière, va permettre de mieux **tester l'hypothèse d'une relation causale entre diversité et fonctionnement des forêts**, notamment dans le cadre du changement climatique. Dans cette expérimentation à long terme sont en effet contrôlés l'identité et le nombre des essences en mélanges ainsi bien que les conditions d'alimentation hydrique, dans des conditions stationnelles identiques et pour un même mode de gestion. En outre ce dispositif s'intègre dans un **réseau international de plantations expérimentales** conçues sur le même principe et pour tester les mêmes hypothèses, contribuant à des résultats d'une plus grande portée. Enfin un dispositif complémentaire portant sur la même question du rôle fonctionnel de la diversité, mais à l'échelle infra spécifique, a été établi pour vérifier si la productivité des forêts de chêne pédonculé augmente avec leur diversité génétique.

Acquis en termes de transfert

L'installation du dispositif ORPHEE est en phase d'achèvement. Les premières mesures de survie et de croissance des arbres ont été réalisées en 2009, les notations d'attaque d'insectes et de champignons pathogènes en 2010. Les résultats scientifiques ne sont donc pas encore disponibles et leur transfert auprès des gestionnaires forestiers n'est, par conséquent, pas à l'ordre du jour. Cependant ce **dispositif est conçu pour apporter des réponses pratiques aux propriétaires ou gestionnaires en termes de choix des essences et des mélanges d'essences** pour permettre une production soutenue des peuplements forestiers dans un contexte de changement climatique. Utilisant des essences locales dans des conditions stationnelles typiques des Landes de Gascogne il pourra servir de site de démonstration du fonctionnement de différents types de mélanges d'essences réalistes pour les forestiers aquitains.

Liste des principales valorisations de recherches

Pour les mêmes raisons qu'évoquées plus haut le dispositif ORPHEE n'ayant pas encore produit de résultats il n'est pas encore temps de considérer leur valorisation.

Quelle diversité des essences pour quelle production et quel fonctionnement du sol ?

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : janvier 2006
Montant du budget : 69 000 € (la moitié a été utilisée)
Cofinancements obtenus : aucun.

Coordinateur

Jacques Roy, CEFE-CNRS
34293 Montpellier Cedex 5 (actuellement Ecotron, UPS 3248, 1 Chemin de Rioux, 34980 Montferrier-sur-Lez)
Email : jacques.roy@cefe.cnrs.fr

Autres articipants au projet

Damien Bonal, Anne-Marie Domenach (UMR Ecofog Kourou), Nathalie Fromin, Stephan Hättenschwiler (CEFE-CNRS Montpellier)

Mots-clés : monocultures, forêts mixtes, richesse spécifique, diversité fonctionnelle, décomposition litière, cycles biogéochimiques, physico-chimie du sol, activités microbiennes

Objectifs des recherches

Le projet a pour objectifs de définir les caractéristiques des essences forestières qui jouent un rôle dans l'issue positive ou négative d'une association de ces espèces en plantation et d'analyser les mécanismes impliqués. Il s'agit de mieux comprendre quels paramètres des espèces ou des combinaisons d'espèces sont responsables de l'effet mélange qui est souvent observé.

Le projet comprend une partie expérimentale réalisée en Guyane qui traite de l'impact de la diversité des espèces sur le fonctionnement du sol, notamment au travers des différences de composition chimique des litières. Une deuxième partie se propose d'analyser les résultats d'expérimentations forestières antérieures et des expérimentations ci-dessus en utilisant le concept de dissimilarité fonctionnelle, c'est-à-dire une mesure de la divergence des traits biologiques des espèces composant les mélanges.

Nota bene : *Du fait d'une implication beaucoup plus importante que prévue (90 % du temps), à la demande du CNRS, du responsable du projet dans la mise en place de l'Ecotron de Montpellier, du TGIR Ecotrons et du projet d'infrastructures de recherche européennes ANAEE, l'analyse des résultats des expérimentations forestières antérieures n'a pas été réalisée, de même qu'une partie des mesures in situ. La majeure partie du travail réalisé est le test de l'impact de la diversité de la litière sur sa décomposition et l'analyse des résultats à partir de diverses caractéristiques des mélanges, dont la diversité fonctionnelle.*

Présentation des travaux

Introduction

Les questions posées étaient les suivantes :

A– Quels sont les mécanismes impliqués dans l'effet diversité des essences forestières sur le fonctionnement du sol ?

A1– Quels sont les effets de la diversité de la litière (nombre d'espèces, type d'espèces) sur la vitesse de décomposition ?

A2– Quels sont les effets de cette diversité à court terme (découlant uniquement des propriétés des feuilles en présence) et à moyen terme (au travers des conséquences de la diversité des feuilles sur les caractéristiques biotiques et physico-chimiques du sol).

B– Quels sont les impacts à moyen terme de la diversité de la litière (foliaire et racinaire) sur le fonctionnement du sol (minéralisation de l'azote et du phosphore, respiration, activités potentielles des microorganismes).

C– La dissimilarité fonctionnelle explique-t-elle la variabilité des effets mélanges d'espèces ?

C1 : dans les expérimentations forestières mesurant la productivité de mélanges

C2 : dans les expérimentations de décomposition de la litière

C3 : dans les résultats obtenus en Guyane (partie a et b ci-dessus)

D– La recherche des combinaisons de traits biologiques expliquant le mieux l'effet mélange suggère-t-elle des mécanismes plausibles pouvant expliquer cet effet mélange ?

E– Peut-on développer, et comment, un outil d'aide à la gestion forestière basé sur une mesure de diversité fonctionnelle ?

Matériels et méthodes

Le dispositif expérimental de Paracou en Guyane française

Vingt deux espèces forestières locales ont été plantées en 1983-84 par le CIRAD-Forêt pour déterminer leur développement en condition de sylviculture classique. Le terrain initialement occupé par la forêt naturelle a été défriché au bulldozer puis labouré. La parcelle (1ha) est bordée à l'est et au sud par la forêt naturelle et à l'ouest par une plantation de pins. Elle est constituée de deux rangées contiguës de 12 placeaux (20 m x 20 m) chacune. Chaque espèce a été plantée en monoculture dans un des placeaux. Le développement des espèces de sous-bois est, depuis la plantation, limité par des gyrobroyages à une fréquence approximativement annuelle.

Seules les 16 espèces qui se sont le mieux implantées (LAI d'environ 2 à 5) sont considérées dans cette étude. Ce sont : *Carapa procera, Caryocar glabrum, Dicorynia guianensis, Diplotropis purpurea, Eperua falcata, Goupia glabra, Hymenaea courbaril, Peltogyne venosa, Platonia insignis, Protium cf. sagotianum, Qualea rosea, Simarouba amara, Sterculia cf. pruriens, Symphonia cf. globulifera, Virola surinamensis, Vochysia tomentosa*.

Le dispositif expérimental offre des zones interparcellaires correspondant à des mélanges de 2, 3 ou 4 espèces qui peuvent être comparée aux zones centrales des parcelles où la litière est très largement monospécifique.

Protocole d'étude de l'impact de la diversité de la litière sur la vitesse de décomposition

L'étude a été réalisée in situ avec un dispositif permettant de contrôler les apports de la litière à la surface du sol. Des mésocosmes ont été construits à partir d'une section de 6 cm de hauteur d'un tuyau en PVC de diamètre 20 cm, légèrement inséré dans le sol et recouvert d'un filet amovible à maille de 1 mm. Des fenêtres d'accès latérales sont découpées dans le PVC et recouvertes d'un filet à maille de 1 cm de façon à donner libre accès à la faune du sol. Une quantité de litière connue de chaque espèce (en mélange ou non) a été insérée à l'intérieur de ces microcosmes en début d'expérience, puis 273 jours après l'introduction, le reliquat de litière a été prélevé, trié par espèce, séché, pesé et dosé pour l'azote et le phosphore.

Deux enceintes de ce type ont été installées dans chaque zone en monoculture et dans celles en mélange. Dans chaque enceinte une quantité donnée de litière, identique pour toutes les zones a été introduite. Dans les zones en mélange, les espèces de chaque mélange ont été introduites en quantité égale sur l'ensemble de la période, mais chaque espèce a été introduite approximativement au moment du maximum de sa chute de litière. Deux mélanges ternaires et

4 mélanges à 4 espèces additionnels (ne correspondant pas à des zones frontières existantes) ont été créés pour mieux tester l'effet nombre d'espèces. Ces mélanges ont été placés dans les zones à 3 et 4 espèces respectivement. On a donc établi (16 mono + 14 bi + 6 ter + 6 quater) x 2 = 84 mésocosmes.

Pour dissocier l'effet à court terme du mélange d'espèces (qualité de la litière introduite) de l'effet à long terme au travers des modifications biologiques et physico-chimiques du sol, une série de mésocosmes similaires a été réalisée et installée sur une même zone homogène dans la forêt naturelle adjacente. Soit (16 mono + 14 bi + 6 ter + 6 quater) x 2 = 84 mésocosmes.

Résultats

Question A1 : Quels sont les effets de la diversité de la litière (nombre d'espèces, type d'espèces) sur la vitesse de décomposition ?

L'effet mélange a été calculé en comparant la masse de litière restante dans un mésocosme où plusieurs espèces sont présentes à la masse restante prédite à partir des mesures réalisées dans les mésocosmes où chaque espèce de ce mélange était seule.

Le fait d'avoir un mélange de litières d'espèces différentes stimule la décomposition en moyenne de 14 %, mais le nombre d'espèces dans le mélange (2, 3 ou 4) n'a pas d'effet significatif (figure 1). La variabilité de l'effet mélange est très grande, en particulier dans les mélanges binaires où elle varie de - 8 % à + 104 %. En moyenne (figure 2), l'effet mélange est nul dans 25 % des mélanges, négatif dans 15 % et positif dans 60 % (dans ce dernier cas avec une variation de + 10 à + 104 % et une moyenne 24 %). **Cette très grande variabilité de l'effet mélange suggère un rôle important du type d'espèces présentes dans le mélange.**

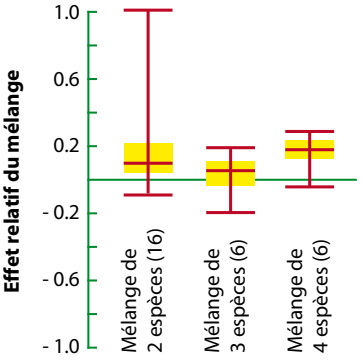


Figure 1. Effet relatif du mélange d'espèces en fonction du nombre d'espèces dans le mélange

(x) : nombre de mélanges étudiés.

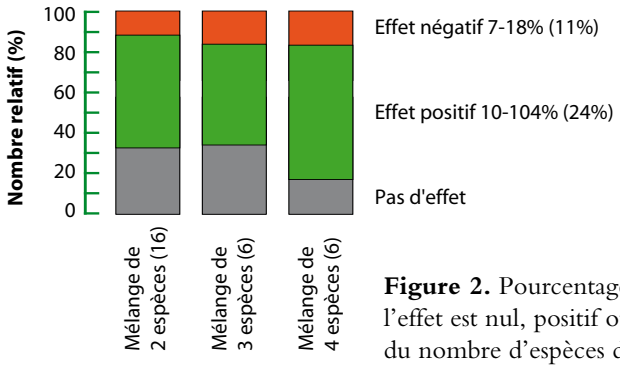


Figure 2. Pourcentage de mélanges dont l'effet est nul, positif ou négatif en fonction du nombre d'espèces dans le mélange.

Question A2 : Quels sont les effets de cette diversité à court terme (découlant uniquement des propriétés des feuilles en présence) et à moyen terme (au travers des conséquences de la diversité des feuilles sur les caractéristiques biotiques et physico-chimiques du sol) ?

La décomposition est en moyenne un peu plus rapide en sous-bois de la forêt naturelle que dans la plantation (probablement du fait d'un taux moyen d'humidité un peu plus élevé dans le sous-bois de la forêt, analyse en cours), mais un résultat intéressant est le fait, malgré cette réponse moyenne, qu'un quart des mélanges se décomposent plus vite dans la plantation où ils se trouvent dans une zone où le mélange d'arbres (et donc de litière) est identique à la composition du mélange du mésocosme. Ceci suggère dans ces zones **la mise en place de communautés de décomposeurs spécifiques à certains mélanges de litières**.

Question B : Quels sont les impacts à moyen terme de la diversité de la litière (foliaire et racinaire) sur le fonctionnement du sol ?

Seule l'activité potentielle des micro-organismes a été testée, à partir d'échantillons de sol prélevés dans les monocultures et les zones inter-parcelles de la plantation.

Les mesures des activités potentielles des micro-organismes ont été effectuée sur 5 échantillons de sol prélevé entre 0 et -5 cm dans chaque parcelle et inter-parcelle.

L'effet mélange est calculé de la même façon que pour la décomposition de la litière. En moyenne, **la respiration potentielle est stimulée de 14 % dans l'ensemble des zones en mélange** par rapport aux monocultures. Une grande variation existe entre les mélanges (*cf.* figure 3) : cet effet varie de + 109 % (*Qualea* + *Dicorynia*) à – 37 % (*Simarouba* + *Peltogyne*). Mais cet effet mélange n'est pas corrélé à l'effet mélange mesuré en mésocosmes : par

exemple, l'effet mélange dans les mélanges *Vochysia* + *Hymenaea* et *Simarouba* + *Goupia* sont fortement positifs dans le cas de la respiration, et sont négatifs dans le cas de la décomposition.

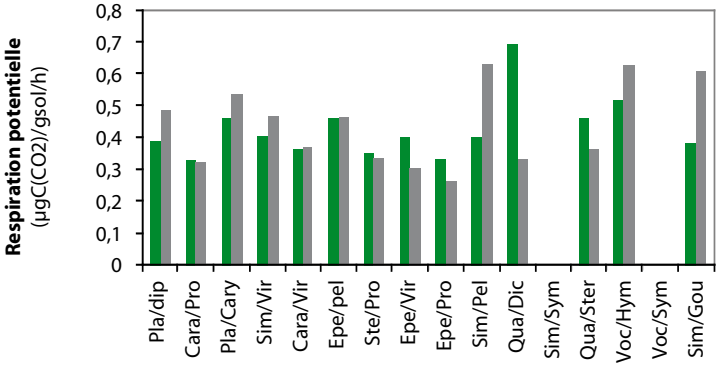


Figure 3. Respiration potentielle du sol observée dans les inter-parcelles en mélange binaire d'espèces et respiration prédite à partir des mesures dans les parcelles en monocultures

Question C : La dissimilarité fonctionnelle explique-t-elle la variabilité des effets mélanges d'espèces ?

L'effet mélange peut venir de transfert de composés chimiques entre espèces différentes ou d'une activité des décomposeurs stimulées par une plus large gamme de ressources (composés chimiques) fournies par des espèces différentes. En conséquences, 10 caractéristiques chimiques de la litière de chaque espèce ont été mesurées (teneur en N, en P, lignine, cellulose, hemicellulose, tannins condensés, phénols totaux, phénols solubles et composés solubles à l'eau), et un indice de diversité fonctionnelle des mélanges (différences entre espèces du mélange pour les caractéristiques chimiques mesurées) a été calculé sur la base des distances euclidiennes entre espèces pour tous les traits (indice de Rao). Une corrélation (attendue positive) a été ensuite établie entre cet indice de dissimilarité et l'effet mélange. La recherche des traits chimiques les plus explicatifs de l'effet mélange a été entreprise en testant toutes les combinaisons de traits, de 2 à 10. Au total 32767 combinaisons de traits ont été étudiées et l'indice de dissimilarité des mélanges pour chacune de ces combinaisons a été corrélé à l'effet mélange sur la décomposition. **Contre toute attente, l'effet mélange n'a été significativement corrélé à aucune combinaison de traits.**

Question D : La recherche des combinaisons de traits biologiques expliquant le mieux l'effet mélange suggère-t-elle des mécanismes plausibles pouvant expliquer cet effet mélange ?

L'approche par un indice de dissimilarité n'a pas permis de mettre en évidence des combinaisons de trait expliquant l'effet mélange. Une approche par régression linéaire multiple a été tentée, non pas à partir des 10 caractéristiques chimiques mesurées, trop nombreuses par rapport au nombre de mélanges, mais à partir des valeurs de chaque espèce sur les 4 premiers axes d'une analyse en composantes principales des 10 caractéristiques chimiques des 16 espèces de litière. Les mélanges ont été caractérisés par la moyenne pour les espèces en mélange des 4 indices de qualité chimique ainsi obtenus.

Le modèle de régression linéaire simple ainsi obtenu n'explique que très partiellement l'effet mélange ($R^2 = 0{,}27$, $p = 0{,}10$). Par contre, un modèle de régression linéaire prenant en compte les interactions entre les 4 indices explique remarquablement l'effet mélange ($R^2 = 0{,}93$, $p = 0{,}001$). Cette approche est poursuivie en supprimant à tour de rôle une ou plusieurs des 10 caractéristiques chimiques afin d'obtenir des indices de qualité chimiques plus facilement interprétables et dont les interactions soient plus explicitent. Des mécanismes d'interactions entre composés chimiques peuvent en effet potentiellement affecter la décomposition de la litière (les tannins par exemple peuvent rendre l'azote indisponible pour les microorganismes).

Discussion - Conclusions

Question E : Peut-on développer, et comment, un outil d'aide à la gestion forestière basé sur une mesure de diversité fonctionnelle ?

À partir des résultats obtenus sur la décomposition de la litière, la réponse est clairement non à partir d'indices de dissimilarité fonctionnelle. Il sera peut-être possible de définir des indices de composition chimique de mélanges qui seront de bons prédicteurs de la vitesse de décomposition et donc de la vitesse de recyclage des éléments en forêt, mais ils risquent d'être spécifiques à un milieu et à un type d'écosystème donné.

Acquis en termes de transfert

Les résultats obtenus montrent que l'effet **mélange d'espèces joue un rôle important dans la vitesse de recyclage des éléments** puisque suivant les combinaisons d'espèces, le mélange peut réduire la vitesse de décomposition de 20% ou l'augmenter de 100 % par rapport à la moyenne de la décomposition des mêmes espèces en monocultures.

Cependant, l'approche de la dissimilarité fonctionnelle, pourtant déjà testée avec succès dans quelques processus écosystémiques, s'est révélée inadéquate pour les processus étudiés.

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Barantal S., Hättenschwiler S., et al., en préparation. Dissimilarity of functional litter traits explains non-additive litter mixture effects on decomposition in a tropical rainforest of French Guiana. Revue ciblée : *Ecology*.

Participation à des colloques nationaux ou internationaux

Barantal S., Fromin N., Schimann H., Hättenschwiler S., 2009. Influence of litter diversity on decomposition in Amazonian rainforest (French Guian). Communication orale, *Impacts of Global Change on Tropical Ecosystems - cross-cutting the Abiotic, Biotic and Human Spheres, Joint Meeting of Association for Tropical Biology and Conservation and the Society for Tropical Ecology*. Marburg (Germany), Association for Tropical Biology and Conservation and the Society for Tropical Ecology, 27-30 juillet 2009.

Hättenschwiler S., 2008. Plant litter-detritivore interactions: links between the green and the brown part of ecosystems? Communication orale, *XXIII International Congress of Entomology*. Durban (South Africa), International Congress of Entomology, 6-12 juillet 2008.

Hättenschwiler S., 2008. L'impact de la diversité biologique sur le recyclage de la matière organique. Communication orale, *Diversité Biologique et Processus Fondamentaux en Ecologie, Séance commune de l'Académie des sciences et de l'Académie d'agriculture de France*. Paris (France), Académie des sciences et Académie de l'agriculture, 17 décembre 2008.

Rapport de fin d'étude

Sandra Barantal, thèse en cours. *Rôle de la qualité et diversité des litières dans le recyclage des nutriments en forêt tropicale*. Montpellier, Université Montpellier 2-CNRS.

Index des mots-clés

Mots-clés **Pages**

activités microbiennes....117
antécédent....55
apprentissage....15
Aube....55
avifaune....55, 89
base de données....89
bilan économique....55
biodiversité....55, 71, 89, 109
biodiversité forestière....15
bois mort....71
capital social....15
Carabidae....55
Champagne....55
champignons....71, 109
changement climatique....109
coléoptères....71
connectivité....89
conservation de la nature....89
cycles biogéochimiques....117
décomposition litière....117
diversité fonctionnelle....117
diversité génétique....45
droits de propriété....15
écologie....71
effet lisière....89
étude à grande échelle....89
exploitation forestière....45
flore....55
fonctionnement....109
forêt....29, 45, 55, 109, 117
forêt tropicale humide....45
forêts de production....29
forêts mixtes....117
fragmentation....89
gestion durable....45
gestion forestière....55, 71, 89
Guyane française....45
histoire....89
historique....55
humidité du sol....55

indicateurs indirects de biodiversité 71
insectes 109
institutions 15
inventaire forestier national 89
itinéraires techniques 55
jachère 55
lien social 15
Marne 55
monocultures 117
mosaïque paysagère 89
Paracou 45
paysage 55, 89
peupleraie 55
phénologie 109
physico-chimie du sol 117
prairie 55
pratiques de gestion 15
prise en charge active 29
processus multi acteurs et multi échelles 29
productivité 109
proximité 15
REDD 45
relation des propriétaires et gestionnaires forestiers à la diversité du vivant 29
représentations sociales 71
résilience 109
ressources naturelles 15
richesse spécifique 45, 117
route 89
saproxylique 71
Seine 55
situation de gestion 15
sociologie 71
sous-étage 55
territoires 29
trait de vie 89
traits 109
traits fonctionnels 45
usage du sol 55
vallée 55
végétation 89
vulgarisation 55

Achevé d'imprimé en janvier 2010
sur les presses de Barnéoud
à Bonchamp-les-Laval

dépot légal : 1er trimestre 2010

Maquette et réalisation : Inzemoon
tél : 06 75 24 19 30
www.inzemoon.com
contact@inzemoon.com

Le programme de recherche « Biodiversité et Gestion Forestière » a été créé en 1996 à l'initiative des ministères chargés du développement durable et de l'agriculture ainsi que d'Ecofor.

Trois appels à propositions de recherche ont été lancés en 1997, 2000 et 2005. Ce programme a été évalué dans le courant de l'année 2008 sur l'instigation du ministère en charge du développement durable et va se prolonger dans un nouvel habillage au cours des années à venir, avec un quatrième appel à propositions initié début 2010.

L'objectif du programme est d'apporter des éléments de réponse aux questions des gestionnaires et des décideurs sur la manière de prendre en compte la biodiversité dans le pilotage ou la pratique de la gestion forestière. Il s'agit donc à la fois d'une affaire de recherches, de développement et d'échanges dans les réseaux de professionnels.

Au sein d'un paysage maintenant riche en programmes de recherche sur la biodiversité, ce programme particulier trouve son originalité dans son approche sectorielle qui permet, par le biais d'une animation forte, d'être en prise directe avec les usagers assurant à la fois une meilleure valorisation des résultats et une plus grande connaissance, par les chercheurs, des problématiques des acteurs.

ISBN 2-914770-12-X

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ALIMENTATION DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS