



Représentations sociales et intérêts écologiques de la nécromasse (RESINE)

*DEAD WOOD IN FOREST MANAGEMENT :
SOCIAL REPRESENTATIONS AND INTERESTS FOR BIODIVERSITY*

Programme « Biodiversité et gestion forestière »

Rapport Scientifique Final

N° de contrat : CV05000150 (janvier 2006)

Responsable du projet :

Christophe BOUGET

Cemagref - Unité "Ecosystèmes forestiers"

Domaine des Barres - 45 290 Nogent-sur-Vernisson

Tel: 02 38 95 05 42 - fax : 02 38 95 03 44

christophe.bouget@cemagref.fr

Responsables des tâches du projet :

Enquêtes sociologiques

P. Deuffic (*Cemagref*), A.M. Granet (*ONF*)

Mesures écologiques

C. Bouget (*Cemagref*), A. Brin (*EI Purpan*), P.A. Moreau (*Univ. Lille*)

Projet de gestion adaptative

T. Cordonnier (*ONF-Cemagref*), F. Gosselin (*Cemagref*)

20 février 2009



REPRESENTATIONS SOCIALES ET INTERETS ECOLOGIQUES DE LA NECROMASSE (RESINE)

Programme Biodiversité et gestion forestière

Responsable scientifique : **Christophe BOUGET**

Partenaires scientifiques :

Cemagref – UR "Agriculture et Dynamique de l'Espace Rural" - 50, avenue de Verdun - 33 612 Cestas
Philippe Deuffic
philippe.deuffic@cemagref.fr
Tel : 05.57.89.08.38

Cemagref - UR "Ecosystèmes forestiers" - Domaine des Barres - 45 290 Nogent-sur-Vernisson
Dr Frédéric Gosselin
frederic.gosselin@cemagref.fr
Tel: 02 38 95 03 58

EIP - Ecole d'Ingénieurs de Purpan - BP 57611 - 75 voie du TOEC - 31 076 TOULOUSE cedex 3
Dr Antoine Brin *Dr Hervé Brustel*
antoine.brin@purpan.fr herve.brustel@purpan.fr
Tel. : 05 61 15 29 85 Tel. : 05 61 15 30 31

Faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques - Laboratoire Botanique et Mycologie
3 rue du Professeur Laguesse - B.P. 83 - 59 006 Lille Cedex
Pr Régis Courtecuisse *Dr Pierre-Arthur Moreau*
rcourtec@pharma.univ-lille2.fr pamoreau@pharma.univ-lille2.fr
Tel.: 03 20 96 47 13 Tel.: 03 20 96 47 13

ONF - Département Recherche et Développement - Boulevard de Constance - 77300 Fontainebleau
Anne-Marie Granet *Dr Thomas Cordonnier*
anne-marie.granet@onf.fr (auj.) Cemagref, 2 rue de la Papeterie, BP76,
Tel: 01 60 74 92 16 38402 Saint-Martin d'Hères cedex
thomas.cordonnier@cemagref.fr

ONF - Cellule d'études entomologiques - 2 rue Charles Péguy 11 500 Quillan
Thierry Noblecourt
thierry.noblecourt@onf.fr
Tel. 04 68 20 06 75

Remerciements

Un grand merci à tous ceux qui ont trempé dans RESINE :

C. Moliard, B. Nusillard, R. Chevalier, L. Valladares, L. Duchemin, J. Fleury, C. Ricou, X. Pineau, L. Mietton, R. Sarrazin, JL Témoin, L. Tillon, F. Arnaboldi, M. Bonafonte, M. Gentils (ONF Rambouillet), Xavier Jenner (CRPF Ile-de-France), Jean-Marc Billac (GPF Landes pays de Born), T. Gautrot, J.C. Samalens, T. Compagnon, P. Salez, J. Moulinier, S. Latherade, E. Devaux, C. Audouin, M. Reveillas, A.-M. Dulaurent, P. Menassieu, C. Méredieu, D. Piou, H. Jactel, O. Rose, J. Chassain, P. Leblanc, L. Schott, B. Moncoutier, R. Vincent, Y. Thieren, P. Berger, P. Dauphin, E. de Lacos, S. Doguet, G. Liberti, P. Queney, J.-Ph. Tamisier, M. Tronquet, B. Duhem, R. Hentic

Sommaire

1. Rappel succinct des objectifs.....	5
2. Déroulement du projet, matériel et méthodes.....	6
2.1. Régions d'étude, forêts et essences choisies.....	6
2.2. Méthodes.....	6
2.2.1. Méthodes sociologiques.....	6
2.2.2. Mesurer la valeur écologique des bois morts pour la biodiversité.....	8
2.3. Inflexions en cours de projet.....	9
3. Résultats.....	11
3.1. Le bois mort en forêt : quelles représentations pour les acteurs forestiers ?.....	11
3.2. Bois mort et biodiversité à différentes échelles spatiales.....	17
3.2.1. Valeur différentielle des types de bois mort.....	17
3.2.2. Stocks locaux de bois mort et biodiversité locale.....	22
3.2.3. Stocks de bois mort dans le paysage environnant et biodiversité locale.....	28
4. Discussion et transferts.....	29
4.1. Le bois mort, un problème public qui appelle la production de connaissances et de normes ?.....	29
4.2. Des résultats...vers les indicateurs indirects de biodiversité et la gestion forestière.....	30
4.3. Quelles justifications à la retention de bois mort ?.....	34
4.3. Acquérir des connaissances supplémentaires : un besoin...quelles stratégies ?.....	36
5. Conclusion et perspectives.....	39
Bibliographie.....	42
Résumé.....	46
Abstract.....	47
Table des matières.....	48

Liste des figures

Fig. 1 : Méthodes d'étude écologiques : tableau récapitulatif

Fig. 2 : Pourcentage des sinistres en fonction de l'état sanitaire de l'arbre

Fig. 3 : Volume moyen des trois types de bois mort dans les Landes : au sol (grumes et branches), souches, chandelles. Les barres verticales symbolisent l'erreur standard (n=143).

Fig. 4 : Volume moyen par classe de diamètre et type de bois mort dans les Landes. Les barres verticales symbolisent l'erreur standard (n=143).

Fig. 5 : Évolution du volume de bois mort total au cours du cycle sylvicole dans les Landes (moyenne et erreur standard).

Fig. 6 : Volume moyen des différents types de bois mort sur les placettes de Rambouillet (+/- SD, échelle 0.9ha).

Fig. 7. Réponse de la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques (Landes et Rambouillet) et des Mycètes lignicoles (Rambouillet) à quelques descripteurs du stock local de bois mort (modèles linéaires ou logistiques, * p<0.05)

Fig. 8 : schéma conceptuel illustrant les relations en 2008 entre les différents secteurs d'activités de l'ONF (sylviculture, exploitation, aménagement) et leur lien avec les différents objets liés à la production de bois mort, vieux arbres et arbres à cavités.

Liste des tableaux

Tab. 1. Plan d'échantillonnage de l'enquête sociologique

Tab. 2. Schéma d'analyse des données écologiques

Tab. 3. Jeux de données disponibles sur la biodiversité des sites étudiés

Tab. 4. Sinistres et état sanitaire des arbres

Tab. 5 : Partition du jeu de données pour les analyses conduites par groupes de pièce et par site.

Tab. 6. Statistiques générales sur les richesses spécifiques des groupes saproxyliques dans les différents types de pièces : (i) contribution de chaque type de pièce à la richesse cumulée totale (avec singletons et doubletons), (ii) nombre d'espèces indicatrices IndVal sur la typologie du plan factoriel, (iii) proportion d'espèces spécialistes, i.e. observées seulement dans cette modalité (hors singletons et doubletons), (iv) richesse cumulée interpolée à effort minimal standard (basé sur le nombre d'échantillons)

Tab. 7. Profils trophiques (abondance et richesse absolues et relatives par lot), diversité fonctionnelle (indice de Shannon fondé sur l'abondance des 6 groupes trophiques, définis selon Bouget et al., 2005) et espèces rares de coléoptères saproxyliques en fonction de l'essence, du type, de la strate, du stade de décomposition et du diamètre (comparaisons de moyennes par tests post-hoc p<0.05)

Tab. 8. Composition spécifique des assemblages dans chaque type de bois mort. Proportion de variance de composition expliquée par ACCP (test par permutations (n=200) de la significativité de l'effet des variables de chaque modèle indépendant) et comparaison de similarité inter-groupes par test Anosim (distance qualitative de Jaccard en ACCP et pour ANOSIM-Mycètes, distance quantitative de Bray-Curtis pour ANOSIM-Coléoptères).

Tab. 9. Réponse de la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques (Landes et Rambouillet), des Mycètes lignicoles, des Bryophytes corticoles et des Chiroptères (Rambouillet) aux principaux descripteurs globaux du stock local de bois mort et au volume de certains types de bois morts (modèles linéaires individuels sur les principales hypothèses, log(y+1), * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001)

Tab. 10. Identification des variables dendrométriques clés pour la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques (Landes et Rambouillet) et des Mycètes lignicoles (Rambouillet) par régression multiple PLS.

Tab. 11. Réponse de la richesse spécifique et de l'abondance par placette des espèces rares et assez rares de coléoptères saproxyliques (Rambouillet) aux principaux descripteurs globaux du stock local de bois mort et au volume de certains types de bois morts

Tab. 12. Synthèse des ACCP réalisées avec des modèles incluant des variables « peuplement » et « paysage ». Ces dernières sont figurées en gras (dPM = densité de pin maritime, dCR = densité de coupes rases).

Tab. 13. Corrélation entre les variables mésologiques et le facteur calculé par une AFD. Seuls sont présentes les résultats associées aux espèces, parmi celles sélectionnées, pour lesquelles la probabilité associée au test de Lambda de Wilks est proche d'une valeur seuil de 0,05. Les variables présentant les plus fortes valeurs absolues de corrélation ($|r|>0.40$) sont figurées en gras.

1. Rappel succinct des objectifs

Contexte et enjeux

Le bois mort est un facteur clé pour la biodiversité forestière, mais le maillon faible de la gestion forestière. Sa gestion, problématique non traitée dans les programmes Ecofor-BGF précédents, est devenue un enjeu majeur dans la définition en cours des pratiques de gestion forestière durable (Bouget, 2007). Il assume de multiples rôles fonctionnels dans l'écosystème forestier (Harmon *et al.*, 1986), notamment comme source de micro-habitats et/ou ressource trophique pour une biodiversité riche et originale (20 à 25% des espèces forestières, Champignons et Coléoptères en tête ; Stokland *et al.*, 2004), mais menacée. En effet, le volume et la diversité des bois morts sont fortement réduits par l'exploitation dans les forêts gérées par rapport aux forêts à dynamique naturelle (Fridman et Walheim, 2000).

Il fait partie des indicateurs de gestion durable des forêts (volet conservation des habitats) en France, des 9 indicateurs de gestion durable CMPFE (section biodiversité) (CMPFE, 2003), des indicateurs BEAR de biodiversité forestière (Larsson, 2001), et des facteurs à suivre dans le cadre de ForestBiota. D'autre part, il a fait l'objet de préconisations de gestion encore imprécises actuellement, souvent focalisées sur des îlots de sénescence ou restreintes à un seuil volumique arbitraire (ONF, 1993).

D'après Stokland *et al.* (2004), la nécessaire phase de validation écologique des indicateurs est encore très incomplète. Malgré son rôle à l'égard de la biodiversité, le bois mort souffre d'un déficit de connaissances qu'il est urgent de combler afin de valider ou d'améliorer la définition des indicateurs et les pratiques de gestion forestière durable. Les gestionnaires forestiers se heurtent en effet à une argumentation scientifique déterminée mais encore imprécise (recommandations floues). Malgré des fonctions importantes dans l'écosystème et une reconnaissance politique croissante, le bois mort souffre encore d'une image confidentielle ou négative, qu'il importe de comprendre. Si le maintien des arbres morts en forêt est présenté comme important pour la biodiversité par les scientifiques et les associations de protection de la nature, cette phase du cycle sylvicole est généralement ignorée du grand public. Une enquête nationale (Dobré *et al.*, 2006) montre que la présence d'arbres morts en forêt est le point le moins apprécié par le public, loin devant le manque de panneau indicateurs, la présence de bois coupé au bord des routes, l'absence d'équipement récréatifs ou l'état des routes. Cet aspect de la sylviculture est aussi questionné par certains gestionnaires forestiers qui ont longtemps considéré le bois mort comme un déchet (Bartoli *et al.*, 2005; Blandin, 1995). Enfin l'émergence de la filière bois-énergie, généralement présentée comme favorable à l'environnement, ajoute encore de la confusion chez de nombreux propriétaires qui se trouvent face à des choix contradictoires : conserver le bois mort pour la biodiversité et la durabilité des sols forestiers ou éliminer ces mêmes bois morts via la filière bois-énergie et préserver ainsi les énergies fossiles non renouvelables comme le pétrole ou le gaz (Deuffic, 2007).

Objectifs

Le présent projet vise 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) et la biodiversité spécifique des Mycètes et des Coléoptères saproxyliques, afin d'orienter les pratiques de gestion forestière et de valider ou de redéfinir les indicateurs de biodiversité fondés sur le bois mort ;

L'enjeu de l'étude écologique est d'améliorer, dans un contexte biogéographique tempéré ouest-européen, moins étudié que les forêts boréales scandinaves, les connaissances sur lesquelles fonder des modalités de rétention du bois mort (types, distribution) pertinentes et favorables à la biodiversité saproxylique (Coléoptères et Mycètes). Nous étudions l'influence, sur la diversité saproxylique locale, de (i) plusieurs propriétés qualitatives du bois mort à l'échelle de la pièce, (ii) des variables descriptives du bois mort à l'échelle du peuplement (volume, diversité, composition qualitative) et (iii) de la distribution spatiale du bois mort à différentes échelles emboîtées dans le paysage.

L'approche écologique tend "vers la généralisation des résultats" avec des données portant sur 2 régions forestières (et des essences d'importance économique majeure : (i) la forêt de pin maritime des Landes (forêt privée), (ii) et la chênaie de plaine de Rambouillet (forêt domaniale)), deux groupes

taxonomiques, une analyse “à plusieurs échelles”, du micro-habitat à la “mosaïque paysagère” en passant par le peuplement, et la mise en place de “dispositifs expérimentaux”.

Un volet parallèle est dédié aux réflexions préalables à la mise en place d’un réseau de gestion adaptative du bois mort en forêt domaniale pour l’acquisition de connaissances supplémentaires.

2. Déroulement du projet, matériel et méthodes

2.1. REGIONS D’ETUDE, FORETS ET ESSENCES CHOISIES

Une approche similaire a été conduite sur deux régions forestières :

- ❖ la forêt de pin maritime (*Pinus pinaster*) des Landes de Gascogne, le plus grand pôle de production de bois en France (en majorité forêt privée),
- ❖ la chênaie de plaine (*Quercus* sp.) du Nord de la France, avec l’exemple de la Forêt Domaniale de Rambouillet (22 000ha dont 14 000 en gestion domaniale), dominée par les chênes sessiles et pédonculés, avec hêtre, tremble, charme, châtaignier, bouleaux dans le sous-étage.

Ces entités concernent 2 essences d’importance économique majeure puisque le chêne et le pin maritime représentent respectivement 25% et 9% du volume sur pied en France (statistiques IFN). Dans chaque région, les sites d’étude sont répartis sur un seul massif (Landes ou Rambouillet) pour réduire les variations biogéographiques ou historiques.

2.2. METHODES

2.2.1. METHODES SOCIOLOGIQUES

2.2.1.1. Cerner les représentations des acteurs forestiers. Cadre théorique, matériau, méthodes

Pour le volet sociologique de notre étude, nous partons du postulat que la réalité est une construction sociale et que cela vaut pour la nature et ses composantes biologiques. Sans nier la réalité du monde physique, il s’agit comme le suggère (Dubar, 1996, p. 105), de reconstruire les stratégies pratiques et pertinentes des individus dans un champ social spécifique –dans notre cas, celui des acteurs de la gestion forestière – sur la base d’une analyse des « mondes » construits mentalement par les individus à partir de leur expérience sociale. Pour étudier cette construction sociale de la réalité, nous mobiliserons successivement :

- ❖ le cadre théorique de la sociologie de la connaissance proposé par Schütz (1987) et Berger et Luckmann (1996) ;
- ❖ les travaux de Larrère (1997), Micoud (2002; 2005) et Kalaora (2000; 2001) pour ce qui est de la construction des rapports Homme-Nature et des relations Homme-Forêt ;

Le postulat de départ dans l’approche constructiviste proposée par Schütz (1987) est que notre connaissance du monde, qu’elle s’exprime dans la pensée courante ou dans la pensée scientifique, est construite sur un ensemble d’abstractions où seuls les objets pertinents pour l’individu sont sélectionnés. Cette sélection des faits « ne signifie pas que, dans la vie quotidienne ou dans la science, nous soyons incapables de saisir la réalité du monde. Cela signifie simplement que nous n’en saisissons que certains aspects, notamment ceux qui sont pertinents pour nous (p. 9 sq.) ». Berger et Luckmann (1996) abondent à cette notion de pertinence en affirmant que « la conscience est dominée par des motifs mobiles pragmatiques (p. 36) » et « d’attention à ce monde ». Les différentes échelles de pertinence « sont déterminées par mes intérêts immédiats et d’ordre pratique, d’autres par ma situation générale dans la société (p. 66) ». L’entrée par la sélection des objets pertinents pour la personne enquêtée permet d’identifier les éléments qui font sens pour les acteurs forestiers. De même, la notion de « typifications des conduites » et de « routine » nous permet de repérer la dimension normative des itinéraires techniques, généralement très codifiés. Enfin, l’intériorisation de la réalité par la « socialisation primaire » évoquée par Berger et Luckmann nous permet d’appréhender les phases l’apprentissage d’un savoir pratique en matière de gestion forestière qui commence souvent dès le plus jeune âge par la découverte du milieu forestier au sein de la cellule familiale. Plus tard, dans ce que Berger et Luckmann (op. cit.) appellent une phase de « socialisation secondaire », l’acquisition de nouvelles connaissances par ces mêmes gestionnaires se fera soit par une formation

professionnalisante (école forestière, stages intensifs), soit par la participation à un groupe de vulgarisation technique (Fogefor¹, CETEF²) ou encore par le biais des revues spécialisées.

Sur le plan méthodologique, l'approche constructiviste de Berger et Luckmann accorde une place importante au langage et à la production de discours. Pour ces auteurs, l'univers de référence des acteurs sociaux est accessible au chercheur essentiellement par le discours (mais il pourrait l'être aussi par l'observation des pratiques). Dubar (1996, p. 105) ne dit pas autre chose quand il écrit que l'analyse des « mondes construits » des acteurs peut se faire en étudiant « les discours des individus sur leurs pratiques sociales « spécialisées » grâce à la maîtrise d'un vocabulaire, à l'intériorisation des « recettes », à l'incorporation d'un programme, bref à l'acquisition d'un savoir légitime qui permette à la fois l'élaboration de « stratégies pratiques » et l'affirmation d'une identité reconnue ». Nous privilégions donc le recueil du discours sur l'observation des pratiques dans la mesure où l'essentiel de la connaissance forestière des propriétaires se transmet par le langage. La plupart des travaux sylvicoles sont désormais réalisés par des entreprises et le propriétaire transmet à ses successeurs avant tout un discours sur les pratiques plus qu'un véritable savoir-faire manuel, qu'un geste technique. On peut raisonnablement penser que le « savoir-faire soi-même » s'est mué en un « savoir-dire ce qu'il faut faire » sur la parcelle par un intervenant extérieur, en l'occurrence l'entrepreneur de travaux forestiers.

Pour ce qui concerne le choix des terrains d'étude, le volet sociologique de la recherche a été réalisé sur les deux terrains communs aux dispositifs de collecte écologiques (Landes et Rambouillet). Etant donné que l'objectif de l'enquête n'est pas de quantifier la répartition des opinions mais d'appréhender la pluralité des représentations associées aux bois morts, nous avons également privilégié la diversité des acteurs et des discours en nous focalisant sur trois catégories d'acteurs et d'usagers de la forêt construites a priori (Tab. 1) : les acteurs institutionnels de la forêt et de l'environnement, les propriétaires, gestionnaires et exploitants forestiers, les autres usagers (promeneurs, chasseurs, cueilleurs).

	Landes	Rambouillet
acteurs institutionnels forêt-environnement, associations environnementales	7	8
propriétaires, gestionnaires et exploitants forestiers	15	14
autres usagers (promeneurs, chasseurs, cueilleurs).	11	9
Total	33	31

Tab. 1. Plan d'échantillonnage de l'enquête sociologique

Plusieurs guides d'entretien ont été élaborés avec une partie commune (présentation de l'activité professionnelle ou récréative de l'enquêté, définitions et importance accordées aux questions d'environnement et de biodiversité, etc.) et une partie spécifique à chaque terrain et à chaque type d'acteurs (questions sur le risque incendie aux enquêtés en charge de la DFCI, sur l'accessibilité aux prestataires de randonnée, sur la filière bois énergie aux exploitants forestiers, etc.).

64 personnes ont été enquêtées. Les entretiens ont été enregistrés, retranscrits intégralement et analysés (voir tableau n°1 et annexe 1 du tableau complet en annexe 6). L'analyse s'est déroulée en deux temps : une analyse individuelle de contenu consistant à cerner les objets centraux du discours de l'enquêté et les fondements de son argumentation et une analyse thématique des oppositions ou convergences de vue entre acteurs.

2.2.1.2. Enquête 'sécurité'

Pour tenter d'étayer le ressenti d'une dangerosité particulière des arbres morts ou sénescents, le choix a été fait d'une méthode exploratoire simple à partir de documents existants faciles d'accès : nous avons retenu les dossiers responsabilité civile ouverts par l'ONF suite à des déclarations de sinistres qui ont eu lieu en forêt domaniale en 2003 et 2004 (hors accidents liés à l'exploitation). Parmi ces sinistres, on identifie ceux qui sont dus à des chutes d'arbres ou branches, et parmi ceux-ci on essaie de déterminer les déterminants principaux de l'accident et de comprendre si et dans quelle mesure l'état sanitaire ou de sénescence de l'arbre peut être considéré comme un de ces déterminants.

¹ Formation à la Gestion Forestière : stage de 18 séances d'une journée proposé par le Centre régional de la propriété forestière d'Aquitaine.

² Centre d'études techniques et économiques forestières. Son but, est de rassembler un petit groupe de propriétaires forestiers (15 à 30) qui souhaitent parfaire leur formation et qui veulent étudier ensemble des sujets d'actualité pour la profession, qu'ils soient techniques, économiques ou réglementaires.

2.2.2. MESURER LA VALEUR ECOLOGIQUE DES BOIS MORTS POUR LA BIODIVERSITE

2.2.2.1. Méthodes d'étude écologiques à l'échelle locale

Les principales méthodes écologiques employées sont récapitulées dans la Figure 1.

2.2.2.2. Caractérisation écologique à l'échelle du paysage

Une carte d'occupation du sol a été établie en actualisant et affinant la carte établie en 2004 par l'Inventaire Forestier National (IFN) à partir d'une campagne photographique de 1997. Une image satellite SPOT 5 prise le 13 juillet 2005 a ainsi permis d'identifier les peuplements feuillus de surface inférieure au seuil de résolution de l'IFN (2ha), de localiser les peuplements exploités depuis 2002 et les coupes rases les plus récentes. Une phase complémentaire de terrain a été nécessaire pour affiner la typologie des peuplements de pin maritime en estimant leur âge. Une variable de ressource en bois mort à l'échelle du paysage a ainsi pu être calculée. Pour cela, chaque peuplement, en fonction de son âge, s'est vu affecter un volume de bois mort correspondant à la somme des volumes de bois mort au sol et de souches prédits par les modèles de dynamique du bois mort développés par Brin *et al.* (2008). L'intégration de la classe de productivité ou de fertilité dans les modèles d'estimation de la quantité de bois mort dans le paysage n'a pas été possible.

Pour des raisons de faisabilité matérielle, nous avons retenu un rayon maximum de 400 m. Le paysage a été appréhendé à trois échelles correspondant à des disques de rayon 200, 300 et 400 m soit des surfaces respectives d'environ 12, 28 et 50 ha. La carte d'occupation du sol a été réalisée avec le logiciel ArcView 3.2 (ESRI, Redlands, CA, USA). Les métriques paysagères ont été calculées avec le logiciel Patch Analyst 2.0.

2.2.2.3. Analyse des données écologiques

X	Y	Méthode
Type de pièce (variables catégorielles)	Composition	Ordination non contrainte NMDS Comparaison inter-groupes (NPMANOVA, ANOSIM)
	Espèces (abondance x occurrence)	Ordination contrainte ACCP et partition d'inertie IndVal
	Profil écologique des assemblages : groupes écologiques (trophiques, rareté)	
	- Abond./RS absolue - Abond./RS relative - Diversité fonctionnelle (shannon)	- Anova, multicom - Chi ² - Tests non paramétriques
Variables dendrométriques locales (variables quantitatives)	Richesse cumulée	Raréfaction sans remise standardisée par le nombre d'échantillons- interpolation avec l'estimateur de RS de Mao-Tau
	Contributions à la richesse	Proportion d'espèces spécialistes Contribution à la RS totale
	Richesse totale, abondance et richesse de certains groupes écologiques : hypothèses élémentaires et modèles simples	gls/anova
Variables dendrométriques dans le paysage	Richesse totale : effets croisés de volume x diversité	Anova type III (séquentielle)
	Exploration des relations entre RS et variables dendrométriques	Régression multiple univariée PLS
	Exploration des relations entre composition et variables dendrométriques	ACCP
	Exploration des relations entre (abondance/occurrence/RS) des espèces/groupes écologiques et variables dendrométriques	Comptabilité des réponses aux modèles simples (gls/anova)
	Richesse spécifique	ANCOVA (volume de bois mort comme co- variable)
	Composition	ACCP
	Occurrence des espèces	AFD

Tab. 2. Schéma d'analyse des données écologiques

Echelle	Région/essence	Coléoptères saproxyliques	Mycètes lignicoles	Bryophytes corticoles	Chiroptères
Peuplement	Rambouillet/Chêne	137 399 ind. (dont 16 099 non-scolytes) 343 sp.	1251 obs. 269 sp.	450 obs. 24 sp.	2726 contacts 15 sp.
	Landes/Pin	7124 ind. 229 sp.			
Pièce	Rambouillet/Chêne	18 567 indiv. 357 sp.	1251 obs. 269 sp.		
	Landes/Pin	12466 ind. 152 sp.			

Tab. 3. Jeux de données disponibles sur la biodiversité des sites étudiés

2.3. INFLEXIONS EN COURS DE PROJET

En cours de projet, l'approche écologique a connu quelques inflexions.

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.


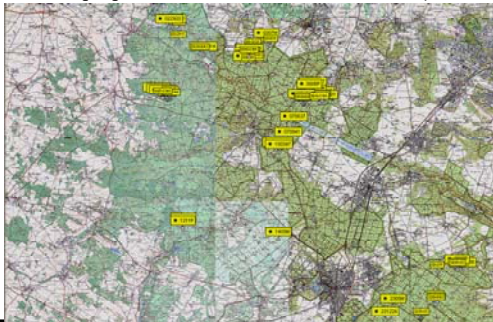


Dans les plantations de pin maritime des Landes, le bois mort a non seulement fait l'objet de mesures sur les placettes d'étude de la biodiversité, mais également d'une modélisation de dynamique au cours du cycle sylvicole.

Enfin, la cartographie du bois mort nécessaire à l'analyse des effets paysagers dans les Landes a finalement été conduite par inférence à partir de la cartographie des peuplements, et non par interpolation (krigeage) dans la grille systématique de mesures dendrométriques.



D'autre part, l'enquête sociologique des représentations a été complétée par l'exploration des risques associés aux arbres morts pour la sécurité du public dans les forêts domaniales.

Fig. 1. Méthodes d'étude écologiques : tableau récapitulatif

Echelle Peuplement

Site d'étude	Forêt Domaniale de Rambouillet (78), dans des parcelles dominées par le chêne (station B= chênaie-charmaie sur limons de plateau, station A = chênaie claire à molinie et fougère sur sols acides)		Landes de Gascogne (33), surtout futaies de pin maritime
Plan d'échantillonnage	Semis irrégulier de 60 placettes (30 en station A, 30 en station B) couvrant un large gradient de volume de bois mort (2-100 m3) 		Grille systématique carré 8x8km de 41 placettes (sous-échantillon du site-atelier INRA-FORESEE) 
Groupes étudiés	Coléoptères saproxyliques, Mycètes lignicoles, Bryophytes corticoles, Chiroptères		Coléoptères saproxyliques
Méthodes : Relevés dendrométriques	Protocole Cemagref (annexe 7), inspiré du protocole MEDD-ENGREF (Bruciamacchie, 2005), assemblage de placettes circulaires concentriques à surface fixe et de transects linéaires = placette cœur à mesures renforcées + 4 placettes satellites Tous les compartiments de la nécromasse (bois mort du houppier inclus) 3 échelles spatiales locales de synthèse des données (XR=0.07-X=0.3-glob=0.9 ha)		Protocole Forsee (annexe 8)
Echant. des Coléoptères saproxyliques	2 pièges d'interception Polytrap par placette Mars-septembre 2006 et 2007 (Bouget et al., Cemagref)		Avril-septembre 2005 (Brin et al., EIP)
Echant. des Mycètes lignicoles	Inventaire sur tout substrat ligneux de diamètre > 5 cm, dans un rayon de placette de 20m (1250m ² ; cf Huhndorf et al., 2004), surtout des Basidiomycota (notamment Aphyllophoromycetideae, champignons lignicoles résupinés ou porés); 15-20% des échantillons déterminés in situ; 4 tournées: juin, juillet, octobre 2007 (Moreau et al., Univ. Lille2, SMF)		
Echant. des Bryophytes	Inventaire des Bryophytes corticoles, dans une placette de 20m de rayon, sur 3 types de substrats ligneux (3 relevés sur charpentières de houppier, 6 relevés sur faces supérieure et latérale de fût, 2 relevés sur section et bords de souche), de février à juillet 2007 (Gautrot, ONF)		
Echant. des Chiroptères	Relevés des Chiroptères circulants sur la placette par 3 passages de détection ultrasonore d'une nuit en avril, juin et septembre 2008 (Tillon et al., ONF)		

Echelle Pièce

Plan d'échantillonnage	Factoriel, stratifié sur [classe de décomposition x diamètre x strate], incomplet, déséquilibré, en raison de la rareté ou de l'absence de certaines combinaisons (groses chandelles ou gros billons très cariés par ex.). Seuils des classes adaptés à chaque essence																																																																																																																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Diamètre (cm)</th> <th rowspan="2">Position</th> <th colspan="3">Stade de décomposition</th> <th rowspan="2">Total</th> </tr> <tr> <th>D1</th> <th>D2</th> <th>D3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">G (> 30)</td> <td>Sol</td> <td>4</td> <td>8</td> <td></td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Souche</td> <td>5</td> <td>5</td> <td></td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Chandelle</td> <td></td> <td>7</td> <td></td> <td>7</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">M (10-30)</td> <td>Houppier</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Sol</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Souche</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">P (5-10)</td> <td>Chandelle</td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Houppier</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>Sol</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">TP (< 5)</td> <td>Souche</td> <td></td> <td>9</td> <td>5</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Chandelle</td> <td></td> <td>5</td> <td>5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Houppier</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>118</td> </tr> </tbody> </table>	Diamètre (cm)	Position	Stade de décomposition			Total	D1	D2	D3	G (> 30)	Sol	4	8		12	Souche	5	5		10	Chandelle		7		7	M (10-30)	Houppier	5	7	8	20	Sol					Souche		1		1	P (5-10)	Chandelle			5	5	Houppier	5	7	7	19	Sol					TP (< 5)	Souche		9	5	14	Chandelle		5	5	10	Houppier	5	3	7	15						118	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Classe de diamètre (cm)</th> <th rowspan="2">Strate</th> <th colspan="3">Stade de dégradation</th> <th rowspan="2">Total</th> </tr> <tr> <th>D1</th> <th>D2</th> <th>D3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">G (>20)</td> <td>Souche</td> <td>7</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Sol</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Chandelle</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>M (7-15)</td> <td>Sol</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">P (3-5)</td> <td>Sol</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Houppier</td> <td>10</td> <td>10</td> <td></td> <td>20</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">TP (1-2.5)</td> <td>Sol</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Houppier</td> <td>10</td> <td>10</td> <td></td> <td>20</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>164</td> </tr> </tbody> </table>	Classe de diamètre (cm)	Strate	Stade de dégradation			Total	D1	D2	D3	G (>20)	Souche	7	5	6	18	Sol	6	5	5	16	Chandelle	5	5	5	15	M (7-15)	Sol	5	5	5	15	P (3-5)	Sol	10	10	10	30	Houppier	10	10		20	TP (1-2.5)	Sol	10	10	10	30	Houppier	10	10		20						164
Diamètre (cm)	Position			Stade de décomposition				Total																																																																																																																																				
		D1	D2	D3																																																																																																																																								
G (> 30)	Sol	4	8		12																																																																																																																																							
	Souche	5	5		10																																																																																																																																							
	Chandelle		7		7																																																																																																																																							
M (10-30)	Houppier	5	7	8	20																																																																																																																																							
	Sol																																																																																																																																											
	Souche		1		1																																																																																																																																							
P (5-10)	Chandelle			5	5																																																																																																																																							
	Houppier	5	7	7	19																																																																																																																																							
	Sol																																																																																																																																											
TP (< 5)	Souche		9	5	14																																																																																																																																							
	Chandelle		5	5	10																																																																																																																																							
	Houppier	5	3	7	15																																																																																																																																							
					118																																																																																																																																							
Classe de diamètre (cm)	Strate	Stade de dégradation			Total																																																																																																																																							
		D1	D2	D3																																																																																																																																								
G (>20)	Souche	7	5	6	18																																																																																																																																							
	Sol	6	5	5	16																																																																																																																																							
	Chandelle	5	5	5	15																																																																																																																																							
M (7-15)	Sol	5	5	5	15																																																																																																																																							
P (3-5)	Sol	10	10	10	30																																																																																																																																							
	Houppier	10	10		20																																																																																																																																							
TP (1-2.5)	Sol	10	10	10	30																																																																																																																																							
	Houppier	10	10		20																																																																																																																																							
					164																																																																																																																																							
Groupes étudiés	Coléoptères saproxyliques, Mycètes lignicoles	Coléoptères saproxyliques																																																																																																																																										
Méthodes : Echant. des Coléoptères saproxyliques		Nasses d'émergence souples, en toile Polyéthylène Haute Densité à maille fine (500µ)																																																																																																																																										
Echant. des Mycètes lignicoles	Etude du type de pièce sur les données de l'inventaire par placette																																																																																																																																											

3. Résultats

3.1. LE BOIS MORT EN FORET : QUELLES REPRESENTATIONS POUR LES ACTEURS FORESTIERS ?

Les résultats de l'enquête sociologique menée auprès de 64 personnes – propriétaires et gestionnaires forestiers, environnementalistes, et usagers – témoignent d'une diversité de pratiques et de représentations en matière de gestion forestière ainsi que des tensions et des divergences autour des enjeux liés aux bois morts. Nous allons donc dans un premier temps replacer les acteurs enquêtés dans leurs univers de pratiques et de pensées avant de voir comment les questions d'environnement, de biodiversité et de bois morts interfèrent ou non sur leurs pratiques et modèlent leur représentations.

3.1.1. DES ENQUETES AUX UNIVERS DE PENSEES ET DE PRATIQUES FORESTIERES SPECIFIQUES

Les enquêtés se répartissent schématiquement en six groupes qui se différencient chacun par ses pratiques de gestion, l'importance qu'ils donnent aux questions d'environnement et leur appartenance à des réseaux sociaux spécifiques (techniques, associatifs, familiaux) :

- les « forestiers industriels » du groupe 1 ont pour priorité la valorisation optimale de la forêt sur le plan industriel, commercial et financier. **Très sensibles aux performances économiques** de la gestion forestière, ils n'adhèrent pas aux dispositifs d'écocertification par conviction environnementale mais pour pouvoir accéder à de nouveaux marchés. Ils perçoivent les pratiques sylvo-environnementales comme une gêne à la maximisation de la production et ils sont favorables à une partition des fonctions de l'espace forestier avec des forêts très productives d'une part et des forêts à vocation environnementale d'autre part ;
- Le groupe G2 des « forestiers sylviculteurs » a une conception du métier de forestier centrée sur le savoir-faire en matière de sylviculture. Ils **trouvent le sens et la noblesse de leur activité dans la production** plus que dans la phase de commercialisation. Leurs critères d'excellence relèvent de la performance technique (vitesse d'accroissement, diamètre atteint, qualité du bois, etc.) et même s'ils sont soucieux de bien vendre les bois, le **prix n'est pas considéré comme un critère de réussite mais comme une juste rémunération de leur travail**. Les enquêtés de ce groupe 2 ont conscience des enjeux environnementaux qui se posent en forêt (préservation de la biodiversité, de la qualité des eaux...) mais ils attendent des réponses claires avant d'adopter de nouveaux itinéraires sylvicoles ;
- Les « forestiers distants » du groupe G3, ont en commun **une gestion peu active** de leur forêt. Au mieux, ils maintiennent les propriétés en l'état mais ils délèguent souvent à leurs entourages les orientations décisives sur la propriété. Si certains de ces enquêtés se désintéressent totalement des questions d'environnement, d'autres qui ne se sentent plus contraint par aucune norme de sylviculture, s'autorisent des pratiques environnementales plus ou moins variées;
- Les « forestiers environnementalistes » du groupe G4 admettent la fonction de production mais ils la considèrent **ni plus, ni moins importante que la fonction environnementale**. Souvent membres d'une association ou d'un réseau naturaliste et tenant d'une éthique de type écocentrée (Larrère *et al.*, 1997), ils se caractérisent aussi par un bon niveau de connaissance en écologie. Sylviculteurs aussi performants que les forestiers des groupes G1 et G2, ils insistent sur la nécessité de trouver des itinéraires techniques écologiquement et économiquement viables. **Ils ont souvent les capacités matérielles, intellectuelles et économiques de mener la sylviculture qui leur semble la meilleure**.
- Les enquêtés du groupe G5 des « naturalistes » sont des membres d'associations de protection de la nature ou des responsables « environnement » de PNR. Proches des forestiers environnementalistes du G4 dont ils partagent les réseaux d'interconnaissance, ils sont souvent à **l'origine de la demande de production de normes environnementales**. Dans ce groupe, on distingue les « naturalistes écologues » (groupe G5a) et les « protecteurs des paysages » (groupe G5b). Les premiers sont des spécialistes d'un domaine biologique donné (chiroptères, bryophytes, oiseaux, tourbières...); ils insistent sur la préservation des milieux non forestiers et promeuvent la création de réserves biologiques intégrales ou

dirigées. Les seconds, les « protecteurs des paysages », se rapprochent des usagers dont ils sont souvent les porte-paroles et dont ils partagent la vision patrimoniale et paysagère de la forêt. Ils mènent des actions en termes de sensibilisation à la nature mais ils ne se considèrent pas suffisamment scientifiquement compétents en écologie.

- Le groupe G6 des « usagers » sont, à Rambouillet comme dans les Landes, essentiellement des habitants dont **la forêt est le cadre de vie et non pas leur univers de travail**, ni d'une quelconque activité sylvicole. Leurs pratiques en forêt relèvent de la promenade, de la chasse, de la cueillette de champignon, etc. Sympathisants de la cause environnementale, ils se déclarent très sensibles à la qualité des paysages et s'avèrent critiques vis-à-vis des actions qui modifient la forêt autour de chez eux.

Quels que soient les enquêtés, on constate qu'un nouveau sens commun institue l'environnement en problème central autour duquel de nombreux discours et projets doivent être reformulés pour être légitimes (Kalaora, 2001). En forêt, ce nouveau référentiel environnemental ne remplace pas mais se surajoute aux modèles classiques, y compris productivistes, de gestion forestière hérités du XX^e siècle. Lorsqu'on y regarde de plus près, les pratiques et les discours des enquêtés vis-à-vis des enjeux environnementaux deviennent plus flous. Tout le monde affirme préserver la biodiversité mais peu de monde sait exactement ce que cette notion revêt. Quant à la question du bois mort, c'est à leurs yeux un aspect plus concret de la gestion forestière mais dont les enjeux sont discutables.

3.1.2. BOIS MORTS, INSECTES ET CIE

Pour une majorité d'enquêtés, la production de discours sur la question du bois mort est plus facile que sur la notion de biodiversité car c'est un enjeu directement lié à leurs activités quotidiennes en forêt. Ils décrivent ainsi le bois mort comme **un arbre, debout ou couché, mort et en en voie de décomposition plus ou moins avancée**. Et plus ils sont confrontés à la question des bois morts, plus leur description est précise puisque certains y incluent les brindilles, les souches, les volis, les chandelles, les arbres « secs », « à cavités » ou « bios », etc.

L'identification des espèces animales et végétales associées aux bois morts est aussi une connaissance de sens commun, souvent suffisante aux besoins des enquêtés pour leur pratiques sylvicoles quotidiennes. Pour les forestiers des groupes G1 à G3, une première clef d'entrée est la **catégorie des ravageurs et des maladies vis-à-vis desquels ils expriment une forte hostilité**. Ils connaissent le nom de certaines espèces mais **ils les identifient difficilement** de manière formelle. Hormis les abeilles et les papillons, ils considèrent la plupart des insectes comme des ravageurs et non pas comme des auxiliaires. Cependant, ils s'interrogent de plus en plus sur les causes des dépérissements et opèrent une **distinction entre les accidents climatiques et les « ravageurs primaires »** qui causent la mort directe de l'arbre **et les « ravageurs secondaires »** qui sont des parasites de faiblesse ou des décomposeurs du bois dont la fonction de « nettoyeurs » est alors admise.

A l'opposé des groupes précédents, les forestiers du G4 et les naturalistes du G5 abordent la faune et la flore en des termes identiques à ceux des scientifiques qu'ils côtoient. Ils connaissent les noms vernaculaires et parfois latins des espèces et quelques uns d'entre eux sont spécialisés dans certains taxons. Capables d'évoquer leur rôle fonctionnel, ils citent des exemples d'interactions de type proie/prédateurs tels que la huppe fasciée et son rôle dans la régulation des populations de chenille processionnaire du pin ou la prédation des chauves-souris, des pics ou des reptiles vis-à-vis des diverses espèces d'insectes et de leurs larves. Le bois mort en tant que pièce de bois disparaît pour réapparaître en tant qu'habitat et non plus comme un élément sylvicole à garder pour lui-même.

Enfin, les enquêtés citent la catégorie très générique des mousses et des champignons dont le rôle en matière de décomposition et de retour de la matière organique au sol a été mentionné. Mais deux noms – **l'armillaire et le fomès** – reviennent plus particulièrement dans la bouche de forestiers landais pour **les problèmes de mortalité qu'ils génèrent**. L'armillaire est une espèce qu'ils connaissent depuis longtemps et pour laquelle ils ont une stratégie de lutte à peu près établie. Le fomès leur cause plus de souci car **ce champignon progresse rapidement et aucune stratégie de lutte satisfaisante n'a été mise au point**.

3.1.3. PLACE, ROLE ET STRATEGIE DE GESTION DU BOIS MORT ET DE LA FAUNE/FLORE ASSOCIEES

Personne n'a affiché des pratiques de chasse ouverte au bois mort. Déconsidéré, à peine toléré, il est parfois **évacué pour de « bonnes raisons » qui se défendent d'être anti-**

environnementalistes. De fait, chaque groupe applique avec plus ou moins de conviction les diverses recommandations et les normes – labels PEFC/FSC, codes de bonnes pratiques sylvicoles – qui s’imposent à eux.

3.1.3.1. Le bois mort, un sous produit de la sylviculture ou un élément indispensable de l'écosystème ?

Pour les forestiers du groupe G1 à G4, les bois morts ne doivent pas gêner les exploitants forestiers ou les pompiers, ni entraver la régénération du peuplement, ni être une source de risque (maladie, feu, accident...).

Les forestiers du groupe G1 sont les plus enclins à évacuer les bois morts car ils considèrent leur présence comme une erreur de gestion qui fait courir des risques phytosanitaires pour leurs parcelles et celles des voisins. Dans le groupe G2, **le regard et le jugement des pairs** dictent en partie l'évacuation du bois mort. Laisser du bois mort, c'est risquer d'être méjugé par son entourage, sa hiérarchie ou ses successeurs. La vidange des bois morts est une règle à laquelle il est difficile de déroger mais elle est aussi perçue comme un service rendu à son voisin. Dans les Landes, en échange de services tels que la surveillance des départs de feu ou le signalement de cas de mortalité, il est d'usage que le propriétaire donne les arbres morts à la personne qui lui a ainsi rendu service. Cette **pratique de don et de contredon** tend toutefois à disparaître depuis que se développe le marché du bois énergie.

Dans le groupe G3, la pression exercée pour vidanger les bois mort est faible. Sur Rambouillet, il y a encore beaucoup de parcelles non nettoyées suite à la tempête de 1999 et les propriétaires **manquent souvent d'organisation et de moyens pour vidanger les bois**. L'argument du coût économique de l'évacuation du bois mort à faible valeur marchande est également mentionné par les forestiers publics du G2 **pour qui « la chasse au bois mort est finie » faute de temps**. Cela leur semble d'autant plus évident qu'ils ont aujourd'hui des consignes claires pour laisser du bois mort en forêt. Un autre argument d'ordre environnemental revient également souvent : **laisser un peu de bois mort est bénéfique pour la biodiversité** et en particulier pour la petite faune et la flore que le forestier a parfois l'occasion de voir et à laquelle il est attaché même si ce n'est pas son centre d'intérêt principal. Les forestiers des groupes G2 et G4 voient aussi dans les branches mortes ou les têtes de houppier à terre une protection et un **moyen de limiter le tassement du sol par les engins d'exploitation**. Pour certains entrepreneurs de travaux forestiers du G2, conserver le bois mort en l'état et ne pas avoir à le mettre en andain après la récolte, permet de **limiter la manutention de ces branches encombrantes et volumineuses** et donc de perdre moins de temps et d'argent.

Pour les forestiers du G4 et les environnementalistes du G5, le bois mort est un élément indispensable et naturel de l'écosystème ; ce n'est pas un sous-produit mais un coproduit de la sylviculture. Ils gardent des bois à différents stades de décomposition afin de préserver le maximum de biodiversité, des décomposeurs primaires et secondaires jusqu'aux formes ultimes permettant le recyclage de l'humus. Mais le plus difficile est de **convaincre, les bûcherons** et les conducteurs d'abatteuse dont les réflexes consistent souvent à abattre les bois morts pour travailler sur la parcelle en toute sécurité. Des compromis sont parfois trouvés : les arbres morts qui posent des problèmes de sécurité sont abattus puis laissés au sol. Mais les environnementalistes du G5 ont conscience que, pour convaincre les forestiers de laisser des bois morts, ils doivent développer un argumentaire économique qu'ils traduisent ainsi : le retour de l'humus permet à long terme, d'augmenter la fertilité du sol qui, elle-même, assurera un meilleur développement des arbres. Mais la principale faiblesse de cet argument est, de leur propre avis, **le manque de preuve tangible et quantifiée**.

3.1.3.2. Le propre et le sale, une esthétique très discutée

Des jugements d'ordre esthétique sont souvent mis en avant par les enquêtés pour expliquer leur attitude vis-à-vis du bois mort. Certains enquêtés apprécient la dimension sculpturale et figurative des bois morts. Mais pour beaucoup d'usagers du G6, des protecteurs du paysage du groupe G5 b et des forestiers du G1 et du G2, les bois morts incarnent **l'abandon de la forêt, devenue « sale » et non entretenue, le symbole d'un gaspillage de la ressource ligneuse**. Les propriétaires forestiers, landais se plaignent ainsi de voir traîner régulièrement des fonds de pile aux bords des routes, bois qui va pourrir sur place au lieu d'être valorisé à l'usine. La façon dont l'arbre est mort compte aussi beaucoup : les forestiers tirent plus de fierté à montrer au public un vieux chêne de 500 ans qu'ils ont su conserver jusque-là et qui meurt de façon « naturelle » ou de maladie comme c'est le cas pour la série des chênes remarquables de la forêt de Rambouillet qu'un peuplement de chêne à son optimum de croissance, en pleine santé, et que l'on abat à la tronçonneuse pour des raisons économiques.

C'est pourtant ce type de peuplement qui fait la fierté des forestiers du G1 et du G2 plutôt que les vieux chênes des îlots de sénescence.

3.1.3.3. Des risques variables pour les personnes, les biens et les peuplements

Tous les interviewés reconnaissent que le bois mort est une source de risque pour les personnes et que cela exige une sécurisation des lieux fréquentés. Ils approuvent à l'unanimité **l'obligation de couper les arbres morts en bordure de chemins** ou de zones touristiques, même si personne n'a eu connaissance de cas d'accidents avérés. Mais tous les enquêtés ne considèrent pas les dangers de manière homogène. Selon les forestiers du groupe G2, les agents ONF spécialisés dans l'accueil du public sont les plus stricts ainsi que les propriétaires forestiers dans la mesure où **leur responsabilité personnelle est engagée sur leur propriété**. Dès lors que la décision est prise de faire tomber un arbre mort, les gestionnaires s'en méfient encore. Son **abattage demande un peu d'attention** car il a tendance à éclater en plusieurs morceaux une fois parvenu au sol. Ces bois morts au sol représentent aussi **un danger pour les véhicules de secours** qui s'engagent dans les parcelles en cas d'incendie. Un bois mort couché s'avère parfois un obstacle délicat à négocier : sa présence n'est pas toujours facile à appréhender et il faut alors pouvoir le contourner. La situation la plus dangereuse est celle où **les roues avant sont passées sur le billon mais que le camion reste coincé en travers**. Le bois mort est enfin vu comme une **source supplémentaire de combustible** mais pas comme le matériau qui permet d'alimenter le départ de feu. Qu'il soit d'origine accidentel ou criminel, la première source de combustible est plutôt à rechercher du côté des fougères et du sous-bois arbustif et donc du manque de débroussaillage selon les enquêtés.

Dans les plantations de pin maritime des Landes, Rigolot (2005) confirme ces positions, en attestant que le bois mort représente un volume de combustible dans la phase de propagation active, et un éventuel risque de reprise de feu par effondrement des arbres morts sur pied.

Quant aux usagers du groupe G6, ils prennent d'eux-mêmes leurs précautions dont la plus élémentaire est de ne pas se promener à pied les jours de vent. En voiture, ils considèrent également qu'ils risquent plus souvent la collision avec des chevreuils ou des sangliers qu'avec des bois morts ce que confirment les statistiques de l'ONCFS³. Les enquêtés mentionnent enfin des chutes de branches ou de pommes de pin **sans gravité mais les menus dégâts engendrés peuvent déclencher des procédures de recouvrement entre assurances ce qui trouble quelque peu la tranquillité** des propriétaires.

L'autre grande catégorie de risques particulièrement évoquée par les forestiers concerne les attaques phytosanitaires et le fait que les bois morts puissent servir de **« support » ou de « refuge » à des ravageurs**. Le réflexe le plus commun, notamment dans les Landes, est de vidanger les bois morts, de creuser des fossés, de badigeonner les souches avec des préparations à base d'urée et de bore et de surveiller le contingentement de la maladie. L'attitude est la même pour les attaques d'insectes : il s'agit d'éliminer **« les foyers de vermine »**, de traiter les piles de bois, les jeunes plants si nécessaire et de respecter un délai d'attente de deux ans après une coupe rase et avant toute plantation.

Dans les plantations de pin maritime des Landes, l'élimination systématique du bois mort frais est reconnu comme un moyen de lutte préventive contre plusieurs espèces : les Scolytes *Orthotomicus erosus*, *Tomicus piniperda* et *Ips sexdentatus*, le charançon *Hylobius abietis*, le Fomes (*Heterobasidion annosum*).

De façon générale, la méconnaissance des insectes comme des champignons favorisent ces pratiques « préventives » parfois drastiques, les enquêtés appliquant souvent le vieil adage, **« mieux vaut prévenir que guérir »**. A l'inverse, pour les forestiers du G4 et les environnementalistes du G5a, la présence de ravageurs ou de maladies comme l'armillaire **« reste supportable »** et ils essaient d'en tirer partie pour irrégulariser les peuplements considérant qu'il est vain de vouloir lutter contre ces pathogènes. Si les attaques massives leur posent de réels problèmes, la présence ponctuelle de **ravageurs leur paraît maîtrisable par le biais de la lutte biologique et donc d'insectes antagonistes dont ils essaient de favoriser les populations**. Mais dans le cas du *Fomes* pour lesquels aucun organisme antagoniste n'a été identifié, seul un changement radical de sylviculture est proposé aux sylviculteurs. Au-delà de la viabilité de ces systèmes alternatifs, les itinéraires sylvicoles qui favorisent les substitutions ou les mélanges d'essence requièrent beaucoup de connaissances et un engagement auquel tous les forestiers ne sont pas prêts hormis peut être ceux du groupe G4.

³ L'ONCFS estime le nombre de collision annuelle avec des grands ongulés à plus de 20000/an (dont 30 accidents mortels pour des personnes en 2001. Note d'information n°72 du SETRA, décembre 2003, Systèmes et mesures visant à réduire le nombre de collision avec les grands ongulés.

3.1.3.4. Les risques associés aux bois morts et vieux arbres pour la sécurité du public : une approche exploratoire en forêt domaniale

Les risques phytosanitaires et incendie associés aux bois morts n'ont pas été étudiés dans le volet écologique, mais les risques pour la sécurité du public ont été appréhendés par l'enquête « accidents » dans les forêts publiques.

Avec 91 sinistres déclarés en 2003 et 92 en 2004, pour 1 700 000ha de forêts domaniales, le risque d'accident aux personnes⁴ et de dommages aux biens apparaît globalement très faible en forêt.

Mais, le premier constat concerne l'importance relative des sinistres dus à des chutes d'arbres et de branches : 77 sinistres représentant 42% de l'ensemble des déclarations faites au cours des années 2003 et 2004. **La chute d'arbres et de branches constitue la première cause de sinistre en forêt domaniale** devant les défauts des infrastructures et les collisions avec le gibier. Les chutes de branches représentent 15 sinistres (19%), les chutes d'arbres 62 (81%). Les résultats suivants concernent les chutes d'arbres et branches pour lesquelles une déclaration d'accident a été faite en 2003 et 2004.

Le plus souvent, la chute d'un arbre ou d'une branche n'a aucune incidence. Mais elle génère parfois des dégâts matériels, beaucoup plus rarement des accidents corporels, hélas parfois mortels. **Ces dommages peuvent toucher des biens et équipements situés en forêt ou à proximité, des personnes présentes en forêt, le plus souvent pour des pratiques de loisirs, mais pas uniquement, enfin des véhicules ou des personnes sur des infrastructures traversant ou longeant la forêt.** Au cours des 2 années étudiées, 71 (92%) des 77 sinistres recensés n'ont entraîné que des accidents matériels, mais 6 (8%) ont causé des accidents corporels dont 3 mortels. Parmi les accidents matériels, 26 se sont produits sur des routes ou leur bordure et concernent des véhicules.

Le contexte territorial des forêts semble un élément déterminant de l'occurrence de sinistres et / ou de leur déclaration. Si l'on rapproche les déclarations d'accidents liées à des chutes d'arbres ou de branches et le type socio-géographique⁵ des forêts domaniales concernées, on constate que **les sinistres sont surreprésentés (et/ou- davantage déclarés) dans des forêts à caractère périurbain**. Parallèlement, ils ont lieu **majoritairement dans les forêts domaniales à fréquentation forte ou moyenne**.

Hormis le cas des chantiers d'exploitation qui n'est pas abordé dans ce travail, ce sont les **intempéries et principalement les vents violents**, mentionnés dans plus de la moitié des déclarations, **qui apparaissent comme le principal facteur déclenchant à l'origine des sinistres**. Ce constat n'est pas surprenant mais l'analyse des dossiers confirme que, même des phénomènes locaux, avec des vents de violence moyenne ou forte, interviennent dans plus de la moitié des sinistres. Les « bourrasques », évoquées dans d'assez nombreux rapports, apparaissent comme un phénomène aggravant.

Etat sanitaire de l'arbre	Nb de sinistres en 2003/2004		
	Matériels	Corporels	Total
Sain	35	4	39
Sain d'apparence (défaut sanitaire caché)	10	1	11
Dépérissants et sénescents	9		9
Mort	7	1	8
Etat sanitaire non précisé	10		10
Total	71	6	77

Tab .4. Sinistres et état sanitaire des arbres

Dans le cadre de l'analyse effectuée, les arbres ont été répartis en fonction de leur état de santé tel qu'il apparaît dans les rapports transmis au département juridique de l'ONF. Ont été distingués les arbres sains, les arbres comportant un « vice caché », le plus souvent une pourriture racinaire invisible par simple diagnostic visuel de l'arbre sur pied, les arbres dépérissants ou sénescents et les arbres morts. Sont également individualisés les arbres pour lesquels l'état sanitaire n'est pas clairement indiqué.

⁴ Cette étude ne prend pas en compte les accidents des professionnels de la forêt dans le cadre de leur activité.

⁵ Bilan patrimonial des forêts domaniales, ONF, édition 2006

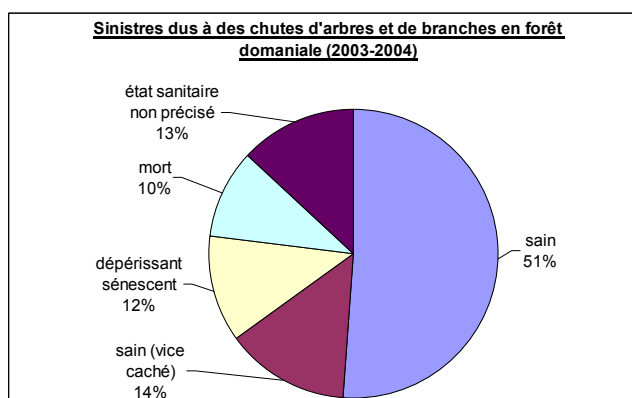


Fig. 2 : Pourcentage des sinistres en fonction de l'état sanitaire de l'arbre

Les **arbres morts ou dépérissants de façon bien visible** sont concernés dans **17 cas pour 77 sinistres**, soit 22% des sinistres. Dans **11 cas supplémentaires**, l'arbre sain en apparence avait en fait un défaut caché, généralement pourriture racinaire ou branche morte non visible dans le houppier. Au total, dans 28 cas (36%), le sinistre s'est produit avec des arbres morts, dépérissants ou sénescents. En l'absence de données précises sur les arbres morts ou sénescents dans les forêts domaniales, il n'est pas facile de conclure à la plus grande probabilité ou non des sinistres liés à ces arbres. Mais d'après les indications disponibles sur le bois mort en forêt gérée⁶, ces résultats semblent bien indiquer une surreprésentation des arbres morts, dépérissants ou sénescents parmi ceux dont la chute a entraîné des dommages.

L'analyse des commentaires issus des rapports suggère que d'autres facteurs liés au peuplement pourraient également jouer un rôle. On peut évoquer l'**essence** –les hêtres seraient surreprésentés-, des **facteurs de déstabilisation ou des points de fragilité**, enfin certains **facteurs conjoncturels liés à la physiologie de l'arbre** –en 2004, le poids des houppiers lié à une fructification exceptionnelle des hêtres.

Par ailleurs, les diagnostics visuels assurés par les gestionnaires ne permettent pas de détecter les défauts sanitaires cachés tels que les pourritures racinaires. Enfin, les surveillances et abattages préventifs se concentrent plutôt sur les gros arbres alors que les perches sont également impliquées dans un certain nombre de sinistres.

3.1.3.5. De l'isolé à l'îlot, des changements d'échelle spatiales et temporelles significatifs

Vu l'acceptation très large des catégories de bois mort, trouver un mètre cube de bois mort à l'hectare est toujours possible pour la plupart des enquêtés. Mais pour les naturalistes du G5 et les forestiers du G4, le problème est de trouver le type de bois qui convient pour telle ou telle espèce et de laisser des pièces de façon concentrée et sur des surfaces significatives. Or les forestiers des groupes G1 et G2 sont généralement **hostiles à la création d'îlot de vieillissement et de sénescence** qu'ils interprètent comme une amplification substantielle des mesures de conservation des bois morts à grande échelle. D'après eux, les îlots de vieillissement permettent de **développer des gros bois et d'augmenter la valeur du capital sur pied**. Le bilan peut être positif d'un point de vue économique et écologique même si l'allongement de la rotation expose le peuplement à des risques accrus, naturels ou anthropiques. En revanche, les îlots de sénescence sont synonymes de « **pure perte** ». Pour les agents patrimoniaux de l'ONF, les conditions de création des îlots de vieillissement et de sénescence illustrent l'**ambiguïté de la politique environnementale** de l'Office. Alors que les objectifs de production leur semblent clairement affichés, budgétisés et évalués de près, les actions de conservation du bois mort et de création d'îlots leur semblent **peu ou pas chiffrés, les mesures mal financées et peu pérennes**. Dans les Landes, la question des îlots a été très peu évoquée. L'idée est généralement admise que le maintien des pins maritimes, **au-delà d'un diamètre qui dépasse ce que peut accepter les bancs de sciage, n'apporte aucune plus value financière**. Pourtant certains forestiers du G5 estiment qu'il peut y avoir un marché de niche pour ce type de bois sachant que cela augmente d'autant la prise de risque vis-à-vis des aléas naturels.

⁶ Bilan patrimonial des forêts domaniales, ONF, édition 2006 et recensement d'arbres morts et à cavités dans les parcelles martelées de forêts domaniales en Ile de France, Normandie et Picardie en 2006 -2007 et 2007-2008

Avec la question des îlots de sénescence, on assiste plus généralement à un renversement du rapport au temps des acteurs interrogés. Les forestiers du groupe G1 à G3 dénoncent facilement les acteurs de l'environnement et le public et en général qui ne tiendraient pas compte des grandes échelles de temps auxquelles le forestier travaille. Ce discours qui instaure une distance par rapport à la sphère et au temps social classique se révèle aussi un moyen de ne pas prendre en compte les attentes d'acteurs considérés comme « impatientes ». Mais ces forestiers se font parfois prendre à leur propre jeu rhétorique. Avec les îlots de vieillissement et l'idée plus générale de préserver la forêt pour les générations futures, les environnementalistes du groupe G5 introduisent aujourd'hui un **rapport au temps qui se cale et qui dépasse même celui des forestiers** ; on assiste donc à une perte d'exclusivité du rapport au temps long des forestiers et même à une inversion des échelles. Avec la diminution des cycles de sylviculture, le temps long du forestier est parfois plus court que celui de l'environnementaliste, qui entend théoriquement réfléchir aux impacts de la sylviculture sur plusieurs générations d'arbres.

3.1.3.6. Le bois mort pour la biodiversité ou le bois énergie ?

Plutôt que de laisser le bois mort en forêt à des fins écologiques, certains professionnels de la forêt préféreraient **utiliser les rémanents dans le cadre de la filière « bois énergie » et en faire une sorte de « néo-produit » de la gestion forestière**. De plus, ce nouveau débouché serait paré d'une **vertu environnementale légitime** puisqu'il s'agirait de sauvegarder les énergies fossiles. Mais comment les enquêtés posent-ils ce débat sur la valorisation des bois morts *via* la filière bois-énergie ?

D'après les interviewés, la demande en bois énergie ne cesse d'augmenter depuis quelques années. Dans les Landes, deux projets industriels majeurs de production de granulés de bois et cogénération sont prêts à mobiliser plus de 250 000 t de rémanents par an. Si la tempête de 2009 peut alimenter à court terme ces filières dans les Landes, il peut être tentant pour les forestiers de satisfaire cette demande sur une plus longue durée. A Rambouillet, ce sont les demandes individuelles qui sont soutenues. Malgré cet engouement, beaucoup de forestiers estiment que la filière connaît encore des **difficultés de récolte de ces rémanents** sans compter les conflits d'intérêts entre les différents acteurs de la filière bois, leur manque d'organisation, et le faible prix d'achat du bois énergie comme le rappellent plusieurs acteurs institutionnels et forestiers des groupes G1 et G2. Ceux-ci sont d'ailleurs unanimes pour dire que **l'objectif principal de la sylviculture est la production de bois de qualité** ; les rémanents ne sont que des sous-produits issus de l'entretien nécessaire à cette production. Dans cette perspective, les produits destinés à la filière **bois-énergie constituent surtout un complément de recettes et non pas la principale source de revenu**.

Si les forestiers se disent prudents, ils ne ferment pas non plus la porte à cette filière à laquelle certains forestiers du G1 et du G2 se sont déjà adaptés en valorisant des « sous-produits » de l'exploitation forestière comme les têtes de houppier, les rémanents, voire les souches. Cette diversification de la demande pour des produits secondaires permet selon eux d'avoir plus d'acheteurs potentiels et de revoir peut-être les prix du marché à la hausse grâce à une concurrence des débouchés. Ils minimisent également les risques d'exportation de matière organique qui peuvent se compenser soit par un complément de fertilisation soit en laissant les branches, les brindilles et les feuilles qui contiennent l'essentiel des éléments minéraux. A l'inverse, une solution évoquée par un environnementaliste du G5 serait de cultiver des arbres uniquement pour le bois de chauffage. C'est donc ici la question des taillis à courte rotation qui est posée mais aussi celles d'autres sources de biomasse que celle provenant de la forêt.

3.2. QUELLE VALEUR ECOLOGIQUE POUR LES BOIS MORTS ? BOIS MORT ET BIODIVERSITE A DIFFERENTES ECHELLES SPATIALES

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.

3.2.1. VALEUR DIFFERENTIELLE DES TYPES DE BOIS MORT

Les plans d'échantillonnage des Coléoptères par émergence diffèrent entre les Landes et Rambouillet car ils ont été adaptés aux bois morts présents dans ces deux types de forêts (seuils des classes de diamètre par ex.). A Rambouillet, les plans d'échantillonnage des Coléoptères et des Champignons

sont également différents pour être adaptés aux méthodes d'échantillonnages propres à ces deux groupes taxonomiques.

Facteur	Type	Strate	Stade de décomposition	Classe de diamètre
Modalités	Grumes+souches +chandelles	Branches au sol / dans houppier vivant	D1 (frais), D2 (carié), D3 (décomposé)	G (gros), M (moyen), P (petit), TP (très petit)
Sélection	Diamètre > 30cm Diamètre > 20cm	Diamètre < 30cm Diamètre < 20cm	Bois mort au sol + souches Tous diamètres	Bois mort au sol (+souches dans les Landes) Tous diamètres
Chêne (Rambouillet)	N=29	N=58	N=75	N=65
Pin (Landes)	N=49	N= 51	N= 80	N= 80

Tab. 5 : Partition du jeu de données pour les analyses conduites par groupes de pièce et par site.

Afin d'éviter les effets liés au déséquilibre des plans d'échantillonnage croisant incomplètement les facteurs 'strate', 'dégradation' et 'diamètre', les analyses ont été conduites sur des sous-ensembles du jeu de données (Tab. 5). Dans les données de Rambouillet, l'effet de la station (A vs B), dont l'influence a été mise en évidence à l'échelle du peuplement (cf 3.2.2.2.), n'a pas été pris en compte.

3.2.1.1. Influence de quelques propriétés des pièces de bois

Catégories Coléoptères	Contributions à la richesse spécifique (en %)		Nb. d'espèces indicatrices (IndVal)		% d'espèces spécialistes		RS cumulée		Catégories Mycètes				
	Chêne Rambouillet	Pin Landes	Chêne Rambouillet	Pin Landes	Chêne Rambouillet	Pin Landes	Chêne Rambouillet	Pin Landes					
TYPE													
Grumes	56.1	58	4	2	10.8	5	115.8a	60.9b	Grumes				
Souches	50.5	84	26	21	16.0	27	118.0a	86.1a	Souches				
Chandelles	58.3	37	28	9	15.9	9	158b	40c	Chandelles				
STRATE													
Sol	80.6	76	76.3	3	5	3	41.3	52	15.9	127.9a	23a	122.3 ^a	au sol
Houppier	50.7	48	40.4	5	6	2	18.7	24	0	107a	24a	78.1 ^b	dressé
			31.0						0			63 ^b	miH
CLASSE DE DECOMPOSITION													
D1	53.3	71	31.7	16	10	1	2.5	12	0	149.2a	89.1a	62.2 ^a	cortiqué
D2	79.0	46	36.6	8	4	1	12.6	4	2.0	192.5b	60b	72.0 ^a	décortiqué
D3	44.7	55	39.6	3	4	0	2.0	4	0	130a	71b	81 ^a	sec
			68.3						6.2			117.1 ^b	pourri
CLASSE DE DIAMETRE													
G	61.8	89	53	33	3	5	16.8	51	6.7	150a	78.9a	103.3 ^a	G
M	52.0	36	42.	7	0	0	1.0	0	1.9	101.5b	36.5b	85 ^a	M
P	47.6	22	47.	5	5	0	2.2	0	1.8	90.8b	18.5c	93.2 ^a	P
TP	24.4	20	35.	3	10	0	9.1	4	0	53.5c	21c	71 ^a	TP
ESSENCE													
			33			0						51.3 ^a	CAR
			34.1			2			3.4			52.3 ^a	BET
			18.3			4			0			49 ^a	POP
			75.7			1			17.0			106.7 ^b	QUE

Tab. 6. Statistiques générales sur les richesses spécifiques des groupes saproxyliques dans les différents types de pièces : (i) contribution de chaque type de pièce à la richesse cumulée totale (avec singletons et doubletons), (ii) nombre d'espèces indicatrices IndVal sur la typologie du plan factoriel, (iii) proportion d'espèces spécialistes, i.e. observées seulement dans cette modalité (hors singletons et doubletons), (iv) richesse cumulée interpolée à effort minimal standard (basé sur le nombre d'échantillons)

3.2.1.1.1. La strate occupée par les branches mortes

En comparant ici les assemblages de coléoptères occupant les branches moyennes et petites, au sol ou dans le houppier, nous portons notre attention sur un micro-habitat souvent négligé dans les estimations du bois mort d'un peuplement et à la biodiversité très mal connue.

Plus des ¾ des espèces trouvées dans les branches sont détectables au sol pour les 2 essences. 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 importants dans les branches du houppier qu'au sol (Tab. 6). Il n'y a pas de différence significative de richesse cumulée entre les deux types de branches (après interpolation à effort standard).

Les branches du houppier hébergent autant de prédateurs - en termes d'abondance et de richesse spécifique - que les branches au sol (Tab. 7). Mais la différence de composition globale est significative (Tab. 8), et les assemblages sont résolument différenciés entre les deux strates. Ainsi, seulement une partie des espèces du bois mort au sol se retrouvent dans les branches du houppier (31 % pour le pin et 50% pour le chêne). Le bois mort du houppier ne peut donc pas jouer un rôle compensatoire dans les peuplements pauvres en bois mort au sol.

3.2.1.1.2. Le stade de décomposition du bois mort au sol

La richesse cumulée et la contribution à la richesse totale en coléoptères (Tab. 6) sont les plus importantes dans les stades frais pour le pin (71% des espèces de coléoptères) et dans les stades de décomposition intermédiaires pour le chêne (80% des espèces de coléoptères), en accord avec la littérature. Pour les champignons lignicoles du chêne, ce sont les stades très dégradés (secs ou pourris, selon la trajectoire de carie) qui sont les plus riches et présentent la plus forte contribution à la richesse totale (40 à 68% des espèces).

Il existe des espèces indicatrices à tous les stades, en nombre particulièrement important dans les stades frais pour les coléoptères du chêne et du pin (Tab. 6). Ce constat rejoint les résultats de Stokland et al. (2004), selon lesquels 35% des espèces saproxyliques scandinaves se développent sur du bois encore vivant ou mort frais, 30% dans les stades de décomposition intermédiaires, et seulement 15% dans les bois très cariés. La composition des assemblages est significativement différenciée entre les stades, sauf entre les stades D2 et D3 de dégradation du pin. Ces données reflètent 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 et al., 2004). Pour le chêne, l'abondance et la richesse moyennes des espèces rares de coléoptères sont équivalentes dans les différents stades de dégradation (Tab. 7).

La forte similarité de composition des stades D2 et D3 pour le pin (Tab. 8) souligne probablement les difficultés de caractérisation et de catégorisation du processus de décomposition hétérogène et continu. La prise en compte du type de décomposition (carie cubique, rouge, molle, blanche...) devrait permettre de mieux discriminer les assemblages, tout en complexifiant les mesures de terrain.

La diversité fonctionnelle (indice de Shannon fondé sur l'abondance des 6 groupes trophiques) est plus importante dans les stades D2 et D3. Ces derniers sont en effet moins dominés par le groupe des xylophages secondaires que le stade D1. En toute cohérence avec notre typologie autécologique des groupes trophiques, l'abondance et la richesse spécifique des xylophages secondaires sont plus importantes dans le bois mort frais (D1), alors que l'abondance et la richesse spécifique des saproxylophages sont plus fortes au stade D3 (en relatif seulement pour le chêne). Ces résultats permettent de valider la pertinence biologique de la typologie simplifiée des stades extrêmes de la dégradation.

Les courbes d'accumulation d'espèces par raréfaction montrent :

- une asymptote atteinte pour un nombre de pièces plus faible pour les classes D1 et D3, ces classes de décomposition fraîches et terminales étant plus homogènes ;
- une asymptote non atteinte pour la classe D2, notamment avec le chêne, signe d'une forte hétérogénéité de cette classe de décomposition occupée par de multiples trajectoires de décomposition (différents types de caries) à partir d'un même état initial vers un même état terminal.

Le stade de saproxylation explique une portion de la variance de composition des assemblages plus importante dans le chêne que dans le pin (13 contre 6%). La décomposition est en effet peut-être un facteur structurant plus profond pour les assemblages de coléoptères du chêne, où la saproxylation est plus lente et les trajectoires plus diversifiées que sur le pin.

3.2.1.1.3. La classe de diamètre du bois mort au sol

Les données n'ont pas été standardisées au volume de chaque pièce ou lot de pièces. Le choix d'une technique de raréfaction basée sur les échantillons (*sample-based*) correspond à nos questionnements. Ainsi, il ne s'agit pas de savoir ce « qu'apportent deux échantillons de n coléos extraits de bois mort de type A ou B » (liés à la productivité des pièces, à la richesse spécifique et à la

structure des assemblages de coléoptères), mais plutôt d'évaluer « les apports relatifs de 2 échantillons de pièces ou de lots de pièces issus de bois morts de type A ou B ». Néanmoins, il est difficile d'écarter le rôle probable d'un effet d'échantillonnage dans certaines analyses.

		Diversité fonctionnelle	Xylophages secondaires				Prédateurs				Saproxylophages				Espèces rares	
			ab	%	RS	%	ab	%	RS	%	ab	%	RS	%	ab	RS
TYPE																
Grumes	Chêne	0.75 +/- 0.19 ^a	348,2	35,6	4,3	13,9	48,2	25,4	11,4	34,9	3,7	2,1	1,1	3,1	5,18a	3,17a
	Pin	1.01+/-0.34	29,9	42,4	2,8	34,4	4,1	11,5	1,7	18,5	18,7	32,5	2,1	22,8		
Souches	Chêne	0.95 +/- 0.14 ^a	37,5	16,8	4,4	11,5	78,2	27,8	12,7	34,0	0,5	0,5	0,4	1,1	11,50b	4,00a
	Pin	0.9+/-0.30	171,8	60,9	5,4	30,6	26,5	11,5	6,4	34,4	24,4	18,3	3,4	18,5		
Chandelles	Chêne	1.03 +/- 0.13 ^a	79,0	14,9	6,7	13,6	88,9	24,2	15,7	31,4	17,4	4,7	4,0	7,8	37,14c	9,71b
	Pin	0.83+/-0.32	227,5	66,6	4,5	47,2	98,1	18,8	3,1	28,1	45,3	9,8	1,3	13,4		
STRATE																
Sol	Chêne	0.77 +/- 0.32 ^a	82,1	35,9	2,6	20,8	7,7	20,3	4,1	27,8	3,3	6,4	0,9	6,1	4,61a	2,15a
	Pin	10.46+/-0.42	4,5	30,9	0,8	31,2	0,3	5,7	0,2	5,8	0,05	0,2	0,02	0,4		
Houppier	Chêne	1.08 +/- 0.15 ^b	4,8	15,4	2,2	16,1	6,8	24,7	3,6	26,4	4,4	24	2,2	18,8	5,03a	2,50a
	Pin	9.63+/-0.34	10,3	44,2	1	38,7	0,4	5,6	0,4	11,8	0,4	10,5	0,2	9,8		
CLASSE DECOMPOSITION																
D1	Chêne	0.50 +/- 0.28 ^a	295	70,3	5,7	36,7	44,1	8,2	6,4	22	2,5	0,3	0,2	0,9	4,91a	2,13a
	Pin	0.82+/-0.45	61,7	61,8	3,0	49,3	11,5	12,8	2,5	18,1	4,5	3,9	0,6	5,2		
D2	Chêne	0.88 +/- 0.26 ^b	24,6	23,3	2,9	14,8	24,3	27,8	7	32,5	4	5,1	1	5,1	5,00a	3,03a
	Pin	0.70+/-0.46	46,3	57,7	2,6	42,3	4,0	11,1	1,6	18,5	13,9	13,6	1,7	15,3		
D3	Chêne	0.89 +/- 0.20 ^b	2,7	10,6	1,3	10,8	6,7	29,3	3,8	30,4	2,4	11,3	1,3	12,7	4,71a	2,14a
	Pin	0.88+/-0.45	27,8	17	2,2	37,3	3,4	7,9	1,6	13,9	15,2	30,9	2,2	26,4		
CLASSE DE DIAMETRE																
G	Chêne	0.75 +/- 0.28 ^a	348,2	35,6	4,8	15,5	48,2	25,4	11,4	34,6	5,5	2,1	1,1	3,1	4,75a	3,17a
	Pin	0.98+/-0.34 ^a	104,7	54,8	4,2	32,4	15,9	14,3	4,2	26,9	21,7	20,5	2,8	20,5		
M	Chêne	0.78 +/- 0.28 ^a	51,4	32,8	2,6	18,8	8,6	23,7	4,4	30,3	3	4,2	0,7	4,7	3,47a	2,16a
	Pin	1.01+/-0.29 ^a	5,8	57,2	2,3	58,3	2	8,8	0,7	9	2,3	12,7	0,5	11,9		
P	Chêne	0.75 +/- 0.37 ^a	112,9	38,9	2,7	22,8	6,8	16,9	3,8	25,3	3,6	8,5	1,1	7,5	5,26a	2,84a
	Pin	0.49+/-0.46 ^b	4,8	59,5	1,2	57,2	0,3	6,5	0,2	7,1	1	11,8	0,2	10,3		
TP	Chêne	0.67 +/- 0.35 ^a	18,2	40,4	2,2	26,8	4	20,6	1,6	23,5	1,8	8,7	0,8	10,9	1,93b	1,00b
	Pin	0.54+/-0.52 ^b	7,8	44,5	1,3	41,1	0,6	10,3	0,4	13,3	0,2	4,2	0,1	4,8		

Tab. 7. Profils trophiques (abondance et richesse absolues et relatives par lot), diversité fonctionnelle (indice de Shannon fondé sur l'abondance des 6 groupes trophiques, définis selon Bouget et al., 2005) et espèces rares (RAR) de coléoptères saproxyliques en fonction de l'essence, du type, de la strate, du stade de décomposition et du diamètre (comparaisons de moyennes par tests post-hoc p<0.05). NB : groupes xylomycophages, opophages, saprophages non cités ici.

La dimension du bois mort conditionne le microclimat, la quantité de ressources, la durée de décomposition et la présence de certains micro-habitats.

Pour le chêne comme le pin, pour les coléoptères comme pour les mycètes lignicoles, la richesse cumulée et la contribution à la richesse totale sont ici plus importantes pour les gros diamètres (Tab. 6). Les grosses pièces de bois mort au sol présentent un grand nombre d'espèces indicatrices pour le chêne et une forte proportion d'espèces spécialistes. Ces pièces de bois sont notamment indispensables au développement des grosses espèces de coléoptères (Siitonen et Saaristo, 2000), et constituent un support particulièrement riche pour les Mycètes lignicoles (Bader et al., 1995 ; Bredesen et al., 1997 ; Jonsson et Krays, 2001). Seul ce type de pièces présente d'ailleurs des espèces de champignons indicatrices.

Les différences de composition entre les grosses pièces et toutes les autres classes de diamètre sont significatives (Tab. 8) pour les champignons et les coléoptères (sauf avec les pièces de chêne de taille moyenne). Cependant, les grosses pièces n'abritent pas davantage d'espèces rares en abondance et en richesse que les pièces petites et moyennes. Mais, pour le pin comme pour le chêne, l'analyse de gros bois mort au sol très cariés (connus pour héberger des taxa spécialisés) fait défaut car ces pièces sont trop rares dans les forêts prospectées pour être étudiées.

Seulement 20 à 25% des espèces de coléoptères se retrouvent dans les très petites pièces (diamètre<5cm). L'abondance et la richesse des espèces rares sur chêne y sont plus faibles que dans les autres classes de diamètre (Tab. 7). Bien que Norden et al. (2004) aient souligné l'importance des Débris Ligneux Fins (diamètre<10cm) pour les mycètes lignicoles, aucun champignon lignicole n'est caractéristique de cette classe de taille dans les données sur chêne. Cependant, les bois morts de diamètre < 5cm n'ont pas été pris en compte dans le protocole mycologique. Les espèces xérolignicoles sont par conséquent sous-représentées. Il convient également de souligner que cette plus petite classe de diamètre se caractérise par :

- plusieurs espèces de coléoptères indicatrices (en nombre important pour le pin) ;
- une proportion de coléoptères spécialistes faible (moins de 10%), mais plus forte que dans les diamètres intermédiaires ;
- une différence de composition significative avec toutes les autres classes de diamètre pour les champignons et les coléoptères (sauf avec les petites pièces sur le pin, Tab. 8).

3.2.1.1.4. Le type de gros bois mort

La position des pièces de bois mort influence leur micro-climat et leur vitesse de dégradation. La richesse cumulée est supérieure dans les chandelles pour le chêne (qui hébergent 58% de l'ensemble des espèces observées) et dans les souches pour le pin (84% des espèces observées). A l'inverse du chêne, les chandelles de pin présentent la richesse cumulée la plus faible et ne portent que 37% des espèces (Tab. 6).

Les chandelles de chêne et les souches de pin abritent un grand nombre d'espèces indicatrices et une forte proportion d'espèces spécialistes. D'autre part, la richesse en espèces rares et leur abondance sont plus élevées dans les chandelles de chêne que dans les bois au sol (Tab. 7, comme Sverdrup-Thygeson et Ims, 2002 l'ont aussi démontré en Norvège).

Parmi les 4 facteurs étudiés, c'est le facteur « type » qui apporte la plus forte contribution à la variance de la composition d'assemblage des coléoptères du pin et du chêne. La composition est significativement différenciée entre ces 3 types de grosses pièces (Tab. 8). Jonsell et Weslien (2003) ont d'ailleurs bien souligné que des pièces de bois mort d'essence et de diamètre similaires, mais placées au sol ou dressées, hébergent des assemblages de coléoptères saproxyliques distincts. La diversité fonctionnelle est semblable entre les 3 types, mais l'abondance des prédateurs est plus forte dans les chandelles de pin et de chêne que dans le bois mort au sol ou les souches.

3.2.1.1.5. L'essence de bois mort au sol (Mycètes seulement)

La composition des assemblages fongiques est significativement différenciée entre les 4 essences feuillues étudiées. A valeur interpolée, la richesse cumulée est supérieure sur le chêne (qui cumule ¾ des espèces observées). Le charme, le bouleau et le tremble présentent des richesses cumulées semblables, même si le bouleau apporte une contribution à la richesse totale légèrement plus forte.

Facteur	% var. tot. (ACCP ; F,p)			Anosim		
	Coléo. chêne	Coléo. Pin	Mycètes chêne	Chêne	Pin	Mycètes chêne
Type	19% (F _{1,26} =3.02**)	27% (F _{2,46} =8.55**)		Grumes-souches R=0.50*** Souches-chandelles R=0.74***	Grumes-souches R=0.40*** Souches-chandelles R=0.96*** Grumes- chandelles R=0.73***	
Strate	6,5% (F _{1,56} =3.92**)	7% (F _{1,49} =3.65**)	1,5% (F _{2,198} =1.5**)	Sol-houppier R=0.23***	Sol-houppier R=0.20***	Sol-dressé R=0.10* Sol-miH R=0.20*** miH-dressé R=0.14**
Classe décompo.	13% (F _{2,72} =5,3**)	5.9% (F _{2,77} =2.4**)	2,3% (F _{4,198} =1.2ns)	D1-D2 R=0.30*** D1-D3 R=0.61*** D2-D3 R=0.15**	D1-D2 R=0.20*** D1-D3 R=0.30***	Non testable
Classe diamètre	10.5% (F _{3,61} =2,4**)	10% (F _{3,76} =2.9)	2,4% (F _{4,198} =1.3**)	G-P R=0.28*** G-TP R=0.35*** M-TP R=0.21*** P-TP R=0.15**	G-P R=0.61*** G-TP R=0.58*** G-M R=0.30*** M-TP R=0.28*** M-P R=0.17**	G-M R=0.09* G-P R=0.06* G-TP R=0.16**
Essence			2% (F _{3,330} =2.3**)			Carpinus-Betula R=0.15** Carpinus-Populus R=0.16* Carpinus-Quercus R=0.23*** Betula-Populus R=0.31*** Betula-Quercus R=0.36*** Populus-Quercus R=0.50***

Tab. 8. Composition spécifique des assemblages dans chaque type de bois mort. Proportion de variance de composition expliquée par ACCP (test par permutations (n=200) de la significativité de l'effet des variables de chaque modèle indépendant) et comparaison de similarité inter-groupes par test Anosim (distance qualitative de Jaccard en ACCP et pour ANOSIM-Mycètes, distance quantitative de Bray-Curtis pour ANOSIM-Coléoptères). Sélection des espèces présentes dans plus de 10% des lots.

3.2.1.2. Autres facteurs d'influence sur la faune colonisant un type de pièce

Les facteurs étudiés expliquent seulement une fraction de la variance observée dans les données (à Rambouillet par ex., strate, classes de diamètre et de décomposition expliquent 60% de la variation de la richesse spécifique par lot). En sus du hasard, les autres facteurs structurant la composition des assemblages d'espèces peuvent être :

- (i) les interactions entre les espèces (prédation, compétition, commensalisme) à l'origine de leur co-existence ou de leur exclusion,
- (ii) la saison de mortalité du bois (qui intervient comme un filtre par rapport à la phénologie des espèces colonisatrices potentielles),
- (iii) et les conditions locales et l'environnement des pièces : micro-climat (ensoleillement, hygrométrie), type de peuplement, stock de bois mort local, voire dans le paysage.

Une influence du contexte des pièces conduit aux questions suivantes : observe-t-on un effet du volume local de bois mort sur l'assemblage saproxylique d'un type de pièce ? Dans un peuplement riche en bois mort, y a-t-il enrichissement au niveau individuel des pièces par effet de synergie (ou effet de masse) ou appauvrissement par effet de dilution ?

L'analyse suivante livre un premier élément de réponse partielle à cette question. 75% des lots de pièces de chêne ayant servi à la mesure de la biodiversité émergente ont été prélevés à Rambouillet sur les placettes où ont été conduites des mesures dendrométriques. Dans cet échantillon, nous observons que l'effet du type de pièce (strate, classe de décomposition ou de diamètre) sur la richesse spécifique moyenne des coléoptères saproxyliques par lot n'est pas significativement modifié par le volume de bois mort local. L'effet intrinsèque du volume de bois mort local n'est jamais significatif (Anova-F test sur modèle linéaire mixte, avec la parcelle d'origine comme effet aléatoire).

3.2.2. STOCKS LOCAUX DE BOIS MORT ET BIODIVERSITE LOCALE

3.2.2.1. Profil dendrométrique des placettes

Les annexes 9 et 10 présentent les valeurs moyennes et étalement des variables dendrométriques sur les 2 dispositifs.

Landes (cf Brin et al., 2008)

Le volume moyen de bois mort est de 15 (\pm 1.16 e.s.) m³/ha. Il est très majoritairement constitué par la fraction « bois mort au sol » qui regroupe les branches et les grumes (Fig. 3). Les chandelles, bien que représentant une proportion du volume total assez proche de celle des souches, constituent l'élément le plus rare à l'échelle du massif.

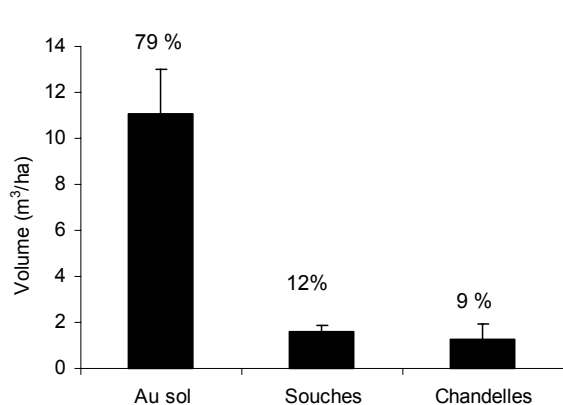


Fig. 3 : Volume moyen des trois types de bois mort dans les Landes : au sol (grumes et branches), souches, chandelles. Les barres verticales symbolisent l'erreur standard (n=143).

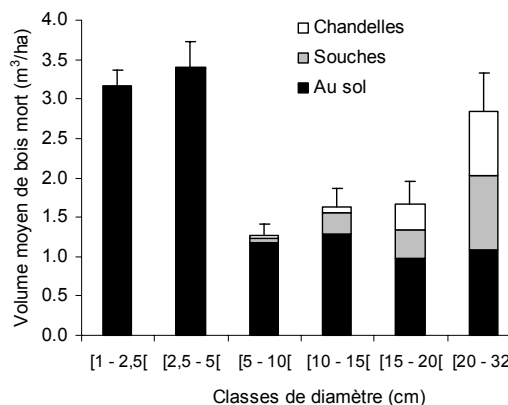


Fig. 4 : Volume moyen par classe de diamètre et type de bois mort dans les Landes. Les barres verticales symbolisent l'erreur standard (n=143).

Les pièces de bois de petit diamètre constituent une part importante du stock de bois mort (figure 4). Lorsqu'on ne considère que les débris ligneux grossiers (diamètre \geq 10 cm) le volume total atteint en moyenne 6.13 (\pm 0.78 e.s.) m³/ha.

Au-delà du volume total moyen considéré pour l'ensemble des peuplements, il est intéressant de noter que ce volume n'est pas constant tout au long du cycle sylvicole (figure 5). Ce dernier a été

décomposé en stades successifs correspondant à un passage en éclaircie : du stade « A », aucune éclaircie au stade « E », après la 4^{ième} éclaircie. La dynamique d'accumulation du bois mort au cours du temps apparaît alors très nettement avec une augmentation importante du volume après la deuxième éclaircie, et donc un pic d'accumulation dans les peuplements âgés de 30 ans.

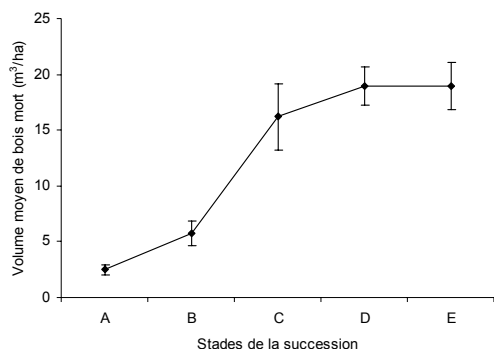


Fig. 5 : Évolution du volume de bois mort total au cours du cycle sylvicole dans les Landes (moyenne et erreur standard).

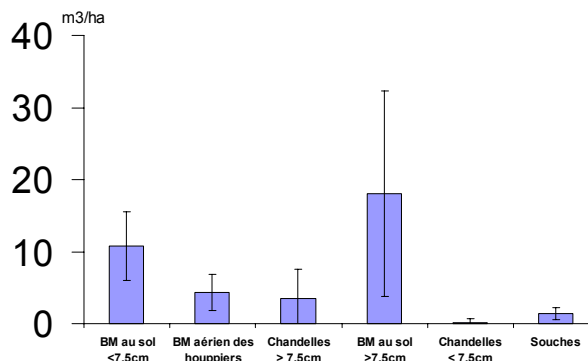


Fig. 6 : Volume moyen des différents types de bois mort sur les placettes de Rambouillet (+/- SD, échelle 0.9ha).

Rambouillet

Le volume de bois mort des 60 placettes rambolitaines, qui s'étale sur un gradient de 3 à 98 m³/ha, ne montre pas de corrélation au type de station ni au statut de gestion des parcelles (les placettes en RBD, en extension de RBD, en RBI, en série écologique ou en série de production sont disposées sur tout le gradient).

La composition moyenne du stock de bois mort illustre la dominance volumique du bois mort au sol, du bois mort des houppiers de chêne et des grosses chandelles, plus importants en moyenne que les souches et le petit bois mort debout.

La cohorte du bois mort généré par la tempête Lothar en décembre 1999 est prédominante.

Certains compartiments "secondaires" de la nécromasse s'avèrent donc numériquement importants et variables. Il existe ainsi des zones où le bois mort des houppiers est assez abondant et où le volume des bois morts au sol et dressé est pauvre. Le bois mort des houppiers pourrait donc y jouer un rôle compensateur primordial. Le volume de bois mort des houppiers par placette varie entre 1 et 12 m³/ha, soit de près de 0 à 40% du volume total de bois mort de la placette.

De même, on trouve des zones riches en branchettes au sol, et pauvres en gros bois mort au sol ou bois mort dressé. La contribution relative des brindilles au stock local de bois mort (entre 5 et 62%) est surtout forte dans les placettes pauvres.

3.2.2.2. Descripteurs de la nécromasse et biodiversité : quelles variables clés ?

3.2.2.2.1. Effets du stock de bois mort local sur la RS locale de plusieurs taxa saproxyliques

Effets des descripteurs globaux du stock local de bois mort

En réponse aux descripteurs globaux du stock local de bois mort (volume, diversité), les résultats sont contrastés entre les deux régions, et entre les 2 types stationnels à Rambouillet.

Dans les Landes, la relation entre la richesse des coléoptères saproxyliques et le volume et la diversité du bois mort est forte (Tab. 9). Dans la chênaie rambolitaine, la richesse des coléoptères répond faiblement mais significativement au volume et à un paramètre de diversité sur les placettes de chênaie-charmaie seulement. La richesse des Mycètes répond faiblement mais significativement au volume et à la diversité sur l'ensemble des placettes, tandis que la richesse des bryophytes corticoles et des Chiroptères n'est pas corrélée aux descripteurs globaux du bois mort (Tab. 9).

Toutefois, le volume et la diversité sont souvent corrélés par simple effet d'échantillonnage, et leurs effets respectifs sont rarement séparés. Similä et al. (2003) et Stokland et al. (2004) ont respectivement montré que la diversité du bois mort a un effet positif sur la richesse en coléoptères saproxyliques ou en champignons xylocorticoles en sus du volume. A Rambouillet et dans les Landes, après la prise en compte du volume, l'effet élémentaire de la diversité du bois mort n'est plus significatif sur les Mycètes et les Coléoptères, respectivement (ANOVA de type III à 0.3ha – le delta d'AICc des modèles avec ou sans diversité est très faible). L'effet du volume de bois mort sur la RS des coléoptères dans les Landes et dans le type stationnel B de Rambouillet demeure significatif après prise en compte de la diversité du bois mort.

A Rambouillet, la comparaison par AICc des modèles volumiques simples aux 3 échelles spatiales d'agrégation des relevés dendrométriques ne montre pas de différence significative entre les 3 échelles locales.

RAMBOUILLET							LANDES	
Stations A et B			Station B seulement					
N=60	N=30		(N=30)		N=15		N=40	
Coléoptères	Mycètes	Bryophytes	Chiroptères	Coléoptères	Mycètes	Bryophytes	Chiroptères	Coléoptères
Volume très local de bois mort (<0.3ha)								
Coléos : relation (+) = Müller et al., 2008 (0.1ha), Similä et al., 2002 (0.09ha), Grove, 2002 (0.06ha) / relation (ns) = Siitonen, 1994 (0.01ha), Okland et al., 1996 (0.16ha)								
Mycètes : relation (+) Rubino, 2003 (0.05ha, Basidios, Ascomycètes), Hottola, 2008 (0.02ha)								
	+ (0,14* à 0,07ha)			+ (R ² =0,13* à 0,3ha)				+ (R ² =0,63***)
Volume local de bois mort (1 ha)								
Coléos : relation (+) = Sippola et al., 1998 (0.8ha) et Martikainen et al., 2000 (1ha) / relation (ns) = Schiegg, 2000 (1ha), Fayt et al., 2006 (0.05-1ha)								
Mycètes : relation (+) = Ohlson, 1997 (1-6ha), Penttilä, 2004 (1ha)								
				+ (R ² =0,16* à 0,9ha)				
Diversité locale de bois mort								
Coléos : relation (+) = Similä et al., 2003 ; Stokland et al., 2004 ; McGeoch et al., 2007								
	+ (0,16* à 0,3ha)			+ (R ² =0,14* nb.cl.dec à 0,3ha)		- (nb.cldia R ² =0,29* à 0,3ha)	- (nb.ess R ² =0,37* à 0,3ha)	+ (R ² =0,51 ***)
Ratio nécromasse/biomasse								
Mycètes : relation (+) = Hahn et Christensen, 2004								
	+ (0,16* à 0,3ha)			+ (R ² =0,16* à 0,3 et R ² =0,20* à 0,9ha)		- (R ² =0,30* à 0,07ha)		
Densité locale de gros arbres								
Coléos : relation (+) = Grove, 2002								
	- (R ² =0,23** à 0,9ha)		- (0,18* à 0,3ha)	- (R ² =0,15* à 0,07ha)	- (R ² =0,48** à 0,9ha)	- (R ² =0,29* à 0,3ha)		
Volume de chandelles								
Coléos : relation (ns) = Similä et al., 2006 (0.16ha), Sippola et al., 1998 (0.8ha)								
								+ (R ² =0,12*)
Volume de gros bois morts au sol								
Coléos : relation (ns) = Similä et al., 2002 (0.16ha)								
			+ (R ² =0,27** à 0,07ha et R ² =0,19* à 0,3ha)	+ (R ² =0,16* à 0,3 et R ² =0,15* à 0,9ha)		- (R ² =0,36* à 0,07 et R ² =0,30* à 0,3ha et R ² =0,34 à 0,9ha)		+ (R ² =0,31***)
Volume de bois mort très dégradé								
Coléos : relation (+) = Similä et al., 2003 (0.1ha)								
	+ (0,08* à 0,3ha)	+ (0,14* à 0,07ha)						+ (R ² =0,39***)
Volume de FWD								
Mycos : relation (+) = Norden, 2004 (1 ha)								
				- (0,18* à 0,3ha)				+ (R ² =0,23**)

Tab. 9. Réponse de la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques (Landes et Rambouillet), des Mycètes lignicoles, des Bryophytes corticoles et des Chiroptères (Rambouillet) aux principaux descripteurs globaux du stock local de bois mort et au volume de certains types de bois morts (modèles linéaires individuels sur les principales hypothèses, $\log(y+1)$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)⁷

A Rambouillet, l'effet du volume de bois mort en proportion du volume du peuplement vivant se traduit par un effet faible du ratio nécromasse/biomasse sur la richesse des mycètes à 0.3ha, et des coléoptères à 0.3 et 0.9ha dans le type stationnel de la chênaie-charmaie seulement (Tab. 9).

⁷ Notons qu'une approche non linéaire des données (de type logistique par exemple ; gnls) est en cours, sur l'hypothèse que la croissance du nombre d'espèces par rapport à la quantité de ressources n'est pas linéaire, mais présente des effets de seuil et des points d'inflexion (par analogie avec la relation aire-richesse). Sur les données des Landes, les R² des modèles non linéaires sont supérieurs aux R² des modèles linéaires, mais la significativité des effets n'est pas modifiée.

A Rambouillet, la surface terrière des gros arbres (de diamètre > 50 cm) aux 3 échelles locales a un effet négatif quasi-généralisé sur la richesse des différents groupes (Tab. 9). Ces effets semblent dus à la corrélation négative de la surface terrière des gros arbres avec la densité d'éléments favorables à aux organismes saproxyliques : $R_{\text{spearman}}[G_{\text{TGB}}]\text{-}[\text{volume de bois mort de bouleau}] = -0.6$ et $R_{\text{spearman}}[G_{\text{TGB}}]\text{-}[\text{volume total de bois mort ou diversité des bois morts}] = -0.5$ pour justifier la réponse négative des Mycètes et des Coléoptères respectivement.

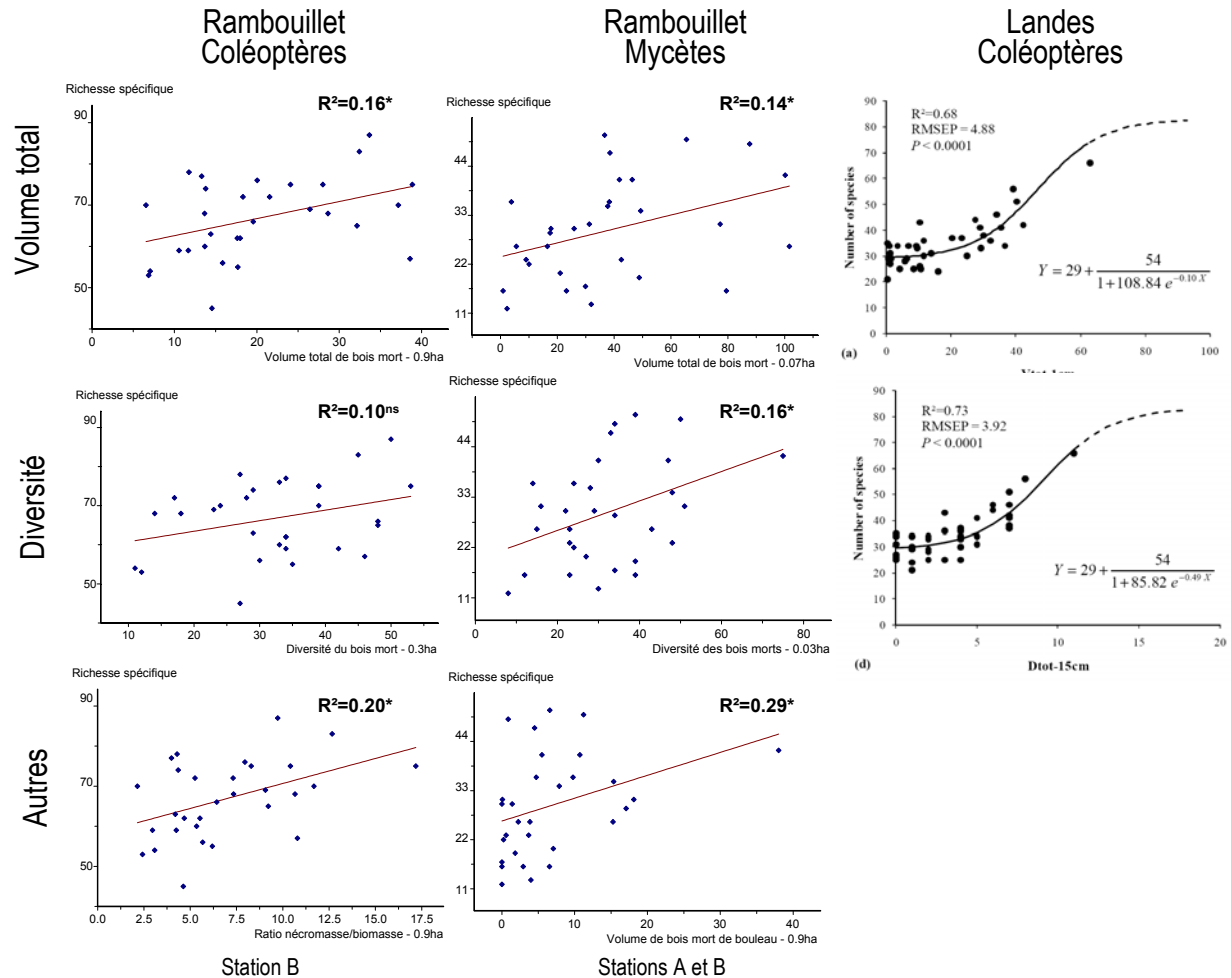


Fig. 7. Réponse de la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques (Landes et Rambouillet) et des Mycètes lignicoles (Rambouillet) à quelques descripteurs du stock local de bois mort (modèles linéaires ou logistiques, * $p < 0.05$)

Effets du volume local de certains types de bois morts

Dans les Landes, la richesse des coléoptères saproxyliques est significativement influencée par le volume de chandelles (faiblement), le volume de gros bois mort au sol, de très petit bois mort au sol et de bois mort très dégradé (Tab. 9). A Rambouillet, seule la densité de gros bois mort au sol a un effet significatif mais faible sur la richesse des coléoptères et des Chiroptères, et le volume de bois mort très dégradé sur la richesse des coléoptères et des Mycètes lignicoles (Tab. 9).

D'autres caractéristiques du stock de bois mort ont fait l'objet d'une approche exploratoire, sans hypothèse inspirée par la littérature. Ainsi, dans le type stationnel B, le volume de bois mort de bouleau a un effet positif ($R^2 = 0.29^*$ à 0.9ha) sur la richesse des mycètes lignicoles.

Le volume de bois mort de chêne perché dans les houppiers des arbres vivants ne montre pas d'effet significatif sur les coléoptères saproxyliques.

Les multiples réponses négatives de la richesse des bryophytes corticoles aux variables dendrométriques (ratio nécromasse/biomasse, densité de gros arbres, de gros bois mort au sol, de très petits bois morts au sol, de bois mort de chêne) sont difficiles à interpréter, et semblent fortement influencées par la faible représentation des espèces sapro-lignicoles dans les échantillons.

Stock local de bois mort et biodiversité : régression multiple et variables clés

A côté d'une approche par modèles individuels correspondant à des hypothèses précises sur les facteurs élémentaires, nous avons réalisé une approche par régression multiple PLS (Partial least squares regression), généralisation de la Régression Linéaire Multiple plus stable à la collinéarité que la régression multiple, privilégiée dans les situations où les prédicteurs sont très nombreux par rapport aux observations.

La relation entre descripteurs de bois mort et richesse locale des organismes saproxyliques est beaucoup plus forte dans les Landes qu'à Rambouillet (Tab. 10), confirmant évidemment les résultats observés dans les modèles individuels ci-dessus. La sélection des variables à forte contribution (entre 13 et 16 variables de VIP>1 selon les cas) explique 72% de la variance de la richesse des Coléoptères dans les Landes, mais seulement 15 à 16% pour les Mycètes et les Coléoptères à Rambouillet (station B seulement), et seulement 4% de pour les Coléoptères sur l'ensemble des 2 stations. Le type de station explique près de 20% de la variance de la richesse des Coléoptères à Rambouillet, mais seulement 4% de celle des Mycètes lignicoles.

Dans les Landes, le modèle avec tous les descripteurs de bois mort pour un seuil de diamètre de 15cm explique la fraction de variance la plus importante ($R^2=0.78$). Parmi les modèles les plus parcimonieux (RMSEP plus faibles, R^2 fort), se trouve le modèle incluant 4 variables de diversité à forte contribution (VIP>1) pour les pièces de diamètre supérieur à 15cm.

A Rambouillet, pour les coléoptères, dans les placettes de station B seulement, le modèle le plus parcimonieux inclut 2 variables avec les VIP les plus fortes, le volume total de bois mort et le volume de bois mort au sol à 0.3ha, mais il n'est pas significatif. Sur l'ensemble des placettes, le modèle le plus parcimonieux inclut 2 variables avec les VIP les plus fortes, les volumes totaux et de bois mort au sol de chêne à 0.07ha, mais il n'est pas significatif (Tab. 10).

		Var. X	Nb var.	RMSEP / R^2 / p	Variables sélectionnées	
Rambouillet	Coléoptères	Toutes placettes (n=60)	Toutes VIP>1 Mod. parcimonieux	65 14 2	10 / 0.05 / - 9.95 / 0.04 / ns 9.9 / 0.04 / p=0.53	GBMS.XR.QUSP+BMT.XR.QUSP
		Station B seulement (n=30)	Toutes VIP>1 Mod. parcimonieux	65 16 2	10 / 0.17 / - 9.5 / 0.16 / ns 9.7 / 0.15 / p=0.11	VBMTX+VGBMSX
	Mycètes	Toutes placettes (n=30)	Toutes VIP>1 Mod. parcimonieux	49 13 2	11,2 / 0.15 / - 11.1 / 0.16 / ns 11.6 / 0.14 / p=0.12	VBMTX+VGBMSX
		Station B seulement (n=15)	Toutes VIP>1	49 14	11 / 0.15 / - 10.8 / 0.15 / ns	
Landes	Coléoptères	Toutes		34	6.2 / 0.74 / ns	Vtot, Dtot, Dddw, Vddw_f3, Vsng_f3, Dstp, Vstp_d2, Vddw_e3, Vddw_d3, Vstp_f1, Vddw_c2, Vddw_e2, Dsng, Vddw_f2
		Diamètre > 1cm (n=40)	VIP>1	14	5.2 / 0.72 / <0.001	
			Var. Diversité	4	6.7 / 0.55 / p<0.001	
		Diamètre >10cm (n=40)	VIP>1 Var. Diversité	12 3	5.8 / 0.74 / p<0.001 6.4 / 0.60 / <0.001	
		Diamètre >15cm (n=40)	Toutes VIP>1 Var. Diversité	20 10 4	5.7 / 0.78 / p=0.006 5.2 / 0.72 / <0.001 5.3 / 0.71 / <0.001	

Tab. 10. Identification des variables dendrométriques clés pour la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques (Landes et Rambouillet) et des Mycètes lignicoles (Rambouillet) par régression multiple PLS. Pour les codes des variables, voir annexes 9 et 10.

3.2.2.2. Effets du stock de bois mort local sur la composition des assemblages saproxyliques

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

Composition spécifique globale des assemblages des différents taxa étudiés

Les analyses canoniques des coordonnées principales (ACCP) sont ici employées comme une méthode de régression multiple multivariée pour identifier les variables déterminantes sur l'inertie du nuage de composition des assemblages saproxyliques.

Dans les Landes comme à Rambouillet, sur les Coléoptères saproxyliques, peu de variables ont une contribution propre à l'inertie significative : le nombre d'essences de bois mort à 0.07ha à Rambouillet (10% de l'inertie, test de permutation $p < 0.01$), et le volume de très petit bois mort (diamètre $< 2.5\text{cm}$) dans les Landes (9% de l'inertie, $p < 0.01$). Aucune variable n'apporte une contribution marginale significative à l'inertie des assemblages de bryophytes, de mycètes et de chiroptères à Rambouillet.

Cet état de fait est probablement dû en partie à la forte proportion des contributions conjointes à l'inertie entre les différentes variables. A l'exploration des contributions totales à l'inertie (inertie marginale + inertie conjointe), les facteurs structurants pour les assemblages de coléoptères saproxyliques à Rambouillet sont :

- le volume de bois mort au sol (8%) (et notamment de très gros bois mort au sol (7%)) et VBMT (8%) pour les coléoptères à 0.3ha ;
- le volume de bois mort au sol (15%) (et notamment de très gros bois mort au sol (14%)) et le volume total de bois mort (15%) pour les Mycètes à 0.3ha ;
- le volume total de bois mort pour les Mycètes (20% de l'inertie), et le volume de très gros bois mort au sol pour les coléoptères (14%) à l'échelle très locale (0.07ha).

L'analyse du sous-jeu de données des placettes de station B à Rambouillet (qui aurait pu être plus disjonctive selon les résultats observés dans les modèles individuels de la richesse) a souffert du faible nombre de placettes par rapport au nombre de variables environnementales.

Effets dendrométriques sur les groupes de Coléoptères : espèces rares et groupes trophiques

L'analyse du groupe des espèces rares n'a été conduite qu'à Rambouillet sur les Coléoptères. Dans les placettes de type stationnel B, le nombre d'espèces rares de coléoptères saproxyliques est positivement corrélé au volume, à la diversité de bois mort et au ratio nécromasse/biomasse à 0.03ha (Tab. 11).

Sur l'ensemble des placettes, l'abondance des espèces rares est positivement influencée par un volume local croissant de chandelles à 0.07 et 0.3ha. Cet effet positif du volume de chandelles rejoint les observations à l'échelle 'pièce' (3.2.1.1.4.)

Le volume de gros bois mort au sol n'a pas d'effet significatif sur l'abondance ou le nombre d'espèces rares. L'abondance des espèces rares est positivement liée au volume de bois mort de tremble à 0.9ha ($R^2=0.18^*$).

Descripteurs dendrométriques	RAMBOUILLET			
	Stations A et B (N=60)		Station B seulement (N=30)	
	Abond.	RS	Abond.	RS
Volume très local de bois mort (<0.3ha)	ns		ns	+
Volume local de bois mort (1 ha)				($R^2=0.14^*$ à 0.3ha)
Diversité locale de bois mort				ns
Ratio nécromasse/biomasse				($R^2=0.15^*$ nb.DW.types $R^2=0.19^*$ nb.cldia.à 0.9ha)
Densité locale de gros arbres				+
Volume de chandelles				($R^2=0.16^*$ à 0.3ha)
Volume de Gros bois morts au sol				-
Volume de Bois mort très dégradé	($R^2=0.17^*$ à 0.3ha)	($R^2=0.17^*$ à 0.3ha)		
Volume de FWD	+	($R^2=0.15^*$ à 0.07 et $R^2=0.14^*$ à 0.3ha)	ns	
	ns			

Tab. 11. Réponse de la richesse spécifique et de l'abondance par placette des espèces rares et assez rares de coléoptères saproxyliques (Rambouillet) aux principaux descripteurs globaux du stock local de bois mort et au volume de certains types de bois morts (modèles linéaires individuels sur les principales hypothèses, $\log(y+1)$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Dans les Landes comme à Rambouillet, la diversité fonctionnelle (Shannon des 6 groupes trophiques de Coléoptères) ne semble pas influencée de manière significative par les volumes de bois mort quel que soit le stade de décomposition considéré, par le volume de gros bois mort au sol, ni de chandelles ou de souches. A Rambouillet (station B seulement), elle montre une relation positive mais très faiblement significative avec le nombre de classes de diamètres à 0.07ha ($R^2=0.14^*$). D'autre part, elle diminue dans les sites où le volume de bois mort des houppiers ($R^2=0.17^*$) ou la surface terrière des très gros arbres augmentent ($R^2=0.13^*$).

Certaines relations plutôt « triviales » sont significatives dans les Landes mais pas à Rambouillet. Ainsi, l'abondance et la richesse des xylophages sont faiblement mais positivement corrélées au volume de bois mort frais ($R^2=0.10^*$ et $R^2=0.12^*$ respectivement), comme les saproxylophages au volume de bois mort carié ($R^2=0.31^{***}$ en abondance et $R^2=0.25^{***}$ en richesse). A Rambouillet, la typologie autécologique du régime trophique des espèces a pourtant été validée par les analyses à l'échelle 'pièce'.

A Rambouillet, l'abondance ou la richesse des coléoptères saproxyliques prédateurs (auxiliaires) ne sont significativement liées à aucun des quantificateurs dendrométriques. Dans les Landes, en revanche, on observe une relation significative entre le volume de bois mort frais ou le volume de bois mort total et la richesse spécifique en prédateurs (respectivement $R^2=0.14^*$ et $R^2=0.29^{***}$), mais aucun effet significatif sur l'abondance en prédateurs.

Le nombre local d'espèces de coléoptères xylo-mycétophages est positivement mais non significativement lié à celui des champignons lignicoles ($R^2=0.15^{ns}$).

Effets dendrométriques sur les familles et espèces de Coléoptères

A Rambouillet (placettes de station B uniquement), plusieurs relations significatives sont observées entre les descripteurs du bois mort et l'abondance ou l'occurrence des espèces ou des familles dominantes de coléoptères. Parmi les relations individuelles, citons par exemple, *Ampedus pomorum*, plus abondant en cas de volume fort de bois mort carié, de bois mort total ou de gros bois mort au sol sur 0.9ha, *Anaspis frontalis*, plus fréquent si le volume de bois mort de chêne augmente sur 0.9ha, ou *Anaspis lurida*, plus fréquent si le volume de souches augmente sur 0.07ha, ou *Cis ferrugineus*, plus fréquent si le volume de bois mort de bouleau augmente (avec ses champignons lignicoles, hôtes du coléoptère) sur 0.9ha.

3.2.3. STOCKS DE BOIS MORT DANS LE PAYSAGE ENVIRONNANT ET BIODIVERSITE LOCALE

Dans les Landes, malgré la variation du volume de bois mort dans le paysage (à moins de 400m) entre 3 et 18 m³/ha, nous n'avons pas observé d'effet significatif sur la composition des assemblages ou sur la richesse spécifique (Tab. 12).

Gibb et al. (2006) n'ont observé un effet de la densité de ressource en bois mort qu'à plus large échelle dans le paysage (rayons de 1km et 10 km), comme Okland et al. (1996) ont montré que la distribution du bois mort à l'échelle régionale (400 ha) a plus d'effet sur la biodiversité locale qu'aux échelles plus locales (0.16 et 100 ha).

Echelle du paysage	% inertie contrainte	Variables à effet significatif ($P<0.05$) (% de l'inertie contrainte)
12 ha (rayon de 200m)	31	Vtot (12,4%), Densité (13,4%), dPM (11,5%)
28 ha (rayon de 300m)	32	Vtot (12,1%), Densité (13%), Couvert (10,2%), dCR (11,2%), dPM (12,8%)
51 ha (rayon de 400m)	32	Vtot (11,8%), Densité (13%), Couvert (11,2%), dCR (11,3%), dPM (12,6%)

Tab. 12. Synthèse des ACCP réalisées avec des modèles incluant des variables « peuplement » et « paysage ». Ces dernières sont figurées en gras (dPM = densité de pin maritime, dCR = densité de coupes rases).

A l'échelle du paysage, on notera par ailleurs l'effet significatif de la densité de coupes rases (comme Bouget, 2005) ou de la présence de feuillus dans le paysage sur la richesse et la composition des assemblages. Enfin, à l'échelle du peuplement, l'effet significatif d'autres variables que le volume de bois mort (densité et couvert) est également à souligner.

Deux des 6 espèces analysées individuellement semblent influencées par le volume de bois mort dans le paysage : *Hylastes attenuatus* et *Prionychus fairmeri* (Tab. 13).

	<i>Anaspis lurida</i>	<i>Tomoxia bucephala</i>	<i>Hymenalia rufipes</i>	<i>Hylobius abietis</i>	<i>Hylastes attenuatus</i>	<i>Prionychus fairmeri</i>
Eléments d'autécologie : essence/groupe trophique	feuillus/sa pro- xylophage	feuillus/sa pro- xylophage	polyphage/sap ro-xylophage	résineux/xy lo-phage 2 ^{aire}	résineux/xy lo-phage 2 ^{aire}	résineux/sap ro-xylophage
Probabilité associée au test	0.005	0.08	0.004	<0,001	0.04	0.03
% de relevés bien classés	97.50%	95.00%	85.00%	97.50%	90.00%	95.00%
Variables peuplement						
peuplemtot	0.32	0.45	0.12	0.85	0.32	-0.16
Densite	-0.10	-0.22	0.30	-0.46	-0.34	-0.12
Couvert	0.19	0.15	-0.31	-0.10	0.32	0.31
Feuil	-0.03	0.48	0.22	0.58	-0.08	0.01
Variables paysage						
dCR_200	-0.17	-0.19	-0.07	-0.14	0.19	0.47
dCR_300	-0.17	-0.21	-0.17	-0.06	0.21	0.55
dCR_400	-0.15	-0.24	-0.21	-0.08	0.20	0.54
dDW200	-0.02	0.06	-0.22	0.10	0.31	0.31
dDW300	-0.19	-0.11	-0.27	0.02	0.40	0.37
dDW400	-0.35	-0.27	-0.28	-0.02	0.45	0.49
dFeuil_200	0.59	0.55	0.43	0.01	-0.16	-0.33
dFeuil_300	0.63	0.58	0.45	0.12	-0.33	-0.41
dFeuil_400	0.60	0.63	0.46	0.16	-0.39	-0.49
dPM200	-0.58	-0.38	-0.59	0.11	0.22	0.04
dPM300	-0.70	-0.55	-0.60	-0.07	0.36	0.20
dPM400	-0.73	-0.67	-0.54	-0.13	0.38	0.37

Tab. 13. Corrélations entre les variables mésologiques et le facteur calculé par une AFD. Seuls sont présentés les résultats associés aux espèces, parmi celles sélectionnées, pour lesquelles la probabilité associée au test de Lambda de Wilks est proche d'une valeur seuil de 0,05. Les variables présentant les plus fortes valeurs absolues de corrélation ($|r| > 0,40$) sont figurées en gras.

4. Discussion et transferts

4.1. LE BOIS MORT, UN PROBLEME PUBLIC QUI APPELLE LA PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET DE NORMES ?

Les enjeux liés à la conservation des bois morts deviennent petit à petit un problème public dans la mesure où ils sont « mis sur l'agenda » des priorités scientifiques et politiques en matière de biodiversité. L'Etat et les divers acteurs institutionnels publics soutiennent des activités de recherche et produisent des normes plus ou moins contraignantes (liste rouge d'espèces protégées, nombre d'arbres morts à préserver à l'hectare). Néanmoins, cette institutionnalisation reste limitée et les forestiers, toutes catégories confondues ne montrent pas un engouement fort pour les enjeux de biodiversité.

De fait, dès lors qu'il est question de produire des normes pour réguler la gestion des bois morts, les forestiers du groupe G1 à G3 **préfèrent que le « bon sens » l'emporte sur « la règle »**. Afin d'éviter ces sujétions environnementales, les forestiers du G1 au G3 témoignent de leur relative tolérance qui leur a fait « oublier » certains arbres morts dans des parcelles. Ils affirment respecter les seuils établis jusqu'à présent dans certains guides PEFC : un mètre cube à l'hectare ne leur paraît pas trop contraignant et à la fois suffisant. Certains forestiers landais pensent même que leur mode de gestion actuelle – dont le caractère intensif est pourtant souvent décrié par les écologistes – remplit amplement ce seuil d'un mètre cube puisque les études de l'INRA menées sur le site de Pontenx-les-Forges font état de 14 m3 de bois mort à l'ha. Dès lors pourquoi changer une norme, qui sans rien faire de plus, a déjà été largement respectée et dépassée ? Une lecture attentive des résultats montre toutefois que **des catégories de bois morts comme les « grosses pièces » sont peu présentes** et que les bois morts, tout diamètre confondu **manquent dans les stades jeunes de la vie du peuplement** (Brin *et al.*, 2008). A Rambouillet, les forestiers du groupe G2 sont également opposés à l'idée d'un volume plancher à l'hectare. Ils mettent en cause d'autant plus facilement les seuils annoncés que ceux-ci évoluent régulièrement sans que les nouveaux chiffres ne leur paraissent vraiment fondés.

Les forestiers estiment donc nécessaire de produire des connaissances scientifiques stabilisées sur les caractéristiques des bois morts à conserver, avant de promulguer des normes en la matière. Ils souhaitent également que ces normes soient négociées avec eux sur la base d'arguments environnementaux, techniques et économiques. Ils attendent donc des indicateurs simples à appliquer et à contrôler. Les forestiers du groupe G4, les plus actifs en matière de conservation du bois mort et

les naturalistes du G5 sont les plus favorables à la promulgation de normes chiffrées même s'ils en admettent les limites. L'avantage de tels chiffres est, à leurs yeux, de pouvoir contrôler l'application de la norme et de ne pas compter seulement sur le « bon sens ». L'apparition de tels chiffres montre aussi la focalisation actuelle sur la quantité de bois mort (essentiellement le volume et le diamètre) qui répond à la nécessité de fournir et de renseigner les indicateurs de gestion durable. Mais plusieurs forestiers et naturalistes insistent aussi sur **la qualité des pièces à conserver** (par exemple le type d'essence, le degré de décomposition, la répartition dans l'espace...) ou le niveau de biodiversité souhaité eu égard aux potentialités du site. Ils préféreraient l'établissement de **seuils relatifs à fixer en fonction des objectifs que l'on souhaite atteindre**. Pour eux, c'est à l'échelle du massif que doivent se fixer ces normes qui n'ont pas forcément lieu de s'appliquer partout et de façon systématique. Malgré l'absence de résultat clair à l'échelle du paysage landais, notre étude écologique plaide en effet plutôt pour une régionalisation des objectifs de morticulture.

L'enquête sociologique et l'enquête 'accidents' illustrent la faiblesse de l'argument sécuritaire opposé à la rétention de bois et d'arbres morts. L'enquête sociologique met en évidence :

- le besoin de données normatives pour une rétention raisonnée de bois mort.
- Les fortes préoccupations des gestionnaires vis-à-vis des risques phytosanitaires associés aux bois morts
- le besoin d'une justification fonctionnelle de la rétention de bois mort dans l'écosystème

4.2. DES RESULTATS...VERS LES INDICATEURS INDIRECTS DE BIODIVERSITE ET LA GESTION FORESTIERE⁸

En termes de recommandations de gestion, nos résultats illustrent les difficultés de généralisation de normes sylvicoles pour dépasser la seule approche qualitative.

1. Quelle est l'influence relative du volume et de la diversité des pièces de bois mort sur la structuration locale des assemblages saproxyliques.

Dans les deux régions prospectées, les tendances observées ne sont pas vraiment congruentes :

- effets élémentaires forts du volume local et de la diversité sur la diversité des coléoptères dans les Landes,
- effets élémentaires faibles du volume local et de la diversité sur la diversité des mycètes lignicoles à Rambouillet et sur la diversité des espèces rares de coléoptères saproxyliques,
- effet élémentaire faible du volume local et non de la diversité sur la diversité des coléoptères dans un seul des 2 types stationnels à Rambouillet.

A Rambouillet, le volume total est la variable dont :

- ❖ la contribution à la variance de la RS des coléoptères et des Mycètes saproxyliques est la plus importante (PLS)
- ❖ la contribution à l'inertie de la composition spécifique des coléoptères et des Mycètes saproxyliques est la plus importante (respectivement 8% et 15% de l'inertie à 0.3ha).

Dans les plantations de pin maritime des Landes, l'indicateur de biodiversité qui reflète le mieux la réalité écologique est basé sur le nombre de types de pièces de bois mort de diamètre supérieur à 15cm (modèle variables dendrométriques/biodiversité le plus parcimonieux).

Au-delà de l'échelle locale, nous n'avons pas observé dans les Landes d'effet significatif du volume de bois mort dans le paysage (jusqu'à 400m) sur la biodiversité saproxylique. Les descripteurs sont peut-être mesurés à une échelle non concordante avec les capacités de dispersion et donc la couverture spatiale des populations de coléoptères saproxyliques.

Gestion forestière et volume objectif de bois mort (approche référentielle des indicateurs de biodiversité)

Malgré toutes les limites de représentativité de notre gradient d'étude, nous pouvons commenter la forme de la relation entre volume et biodiversité, pour examiner la pertinence de valeurs volumiques cibles, outils pour le gestionnaire complétant les recommandations d'ordre qualitatif.

Landes : la valeur actuelle du volume moyen de bois mort dans les plantations des Landes avoisine 14m³/ha (en incluant les diamètres fins), ce qui correspond à un plateau d'accroissement lent de la biodiversité locale (Fig. 7). Le gain de richesse locale avec le volume observe une pente plus forte

⁸ La discussion portera essentiellement sur les mycètes lignicoles et coléoptères saproxyliques qui représentent plus de la moitié de la biodiversité saproxylique (Stokland et al., 2004), et les éléments clés de nos mesures de biodiversité ; leur réponse sera donc bien davantage discutée ici que celle des Chiroptères ou les Bryophytes corticoles. Pour ces deux groupes dont le nombre d'espèces est réduit, l'analyse des réponses spécifiques individuelles (occurrence) est en cours.

entre 25 et 60 m³/ha. En cas de doublement du volume moyen actuel (à 30 m³/ha, valeur cible suggérée pour l'ensemble du territoire français par le WWF ; Vallauri, 2005), le gain de richesse locale serait faible. Pour doubler la richesse locale moyenne, il faudrait plus que tripler le volume moyen de bois mort (50m³/ha). Mais ces considérations locales ne tiennent pas compte de la diversité gamma à l'échelle du massif ou de la composition qualitative du stock de bois mort à volume croissant. La rétention de chandelles et de grosses pièces de bois carié induirait probablement un fort gain de richesse locale mais aussi de diversité gamma à l'échelle du massif.

Rambouillet : en l'absence d'estimation pertinente de la valeur actuelle du volume moyen de bois mort dans la chênaie (entre 5 et 10 m³/ha ?) et d'une approche non linéaire peut-être plus réaliste de la relation bois mort-biodiversité, nos commentaires sur le volume objectif sont assez spéculatifs. Passer de 10m³/ha à 30m³/ha équivaldrait à tripler le volume moyen actuel, mais à une faible augmentation de diversité des Coléoptères et mycètes lignicoles (d'après la fig. 7). D'après nos données (fig. 7), doubler le nombre de types de bois mort (de 20 à 40 à l'hectare) engendrerait une hausse de 50% de la richesse des mycètes lignicoles, mais seulement une faible augmentation de richesse des Coléoptères.

2. Après prise en compte du volume, la diversité des pièces de bois mort a-t-elle un effet significatif ?

A Rambouillet et dans les Landes, après la prise en compte du volume, l'effet élémentaire de la diversité du bois mort n'est plus significatif sur les Mycètes et les Coléoptères, respectivement. D'autre part, la variable 'diversité du bois mort' n'émerge pas dans la régression multiple PLS.

L'effet du volume de bois mort sur la RS des coléoptères dans les Landes dans le type stationnel B de Rambouillet demeure en revanche significatif après prise en compte de la diversité du bois mort.

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

Sur chêne et pin, les 4 facteurs décrivant les pièces de bois mort étudiées (type, strate, diamètre, décomposition) influencent significativement la richesse et la composition des assemblages de Coléoptères et de Champignons saproxyliques.

Les données d'émergence complètent utilement les analyses des effets à l'échelle du peuplement. Ainsi, d'après les données d'émergence, 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 trop faible dans notre jeu de données « peuplement » pour ces deux derniers points).

Gestion forestière et diversification des bois morts

Parmi les mesures « de bon sens », Davies *et al.* (2008) suggèrent le maintien d'une diversité d'habitats de bois mort. Nos résultats confirment partiellement l'importance de la diversité du stock de bois mort pour assurer la persistance du plus grand nombre d'espèces (Coléoptères saproxyliques dans les Landes, et plus faiblement Mycètes lignicoles à Rambouillet).

Dans les Landes, l'optimisation de la richesse de types de pièces de bois mort (nombre de combinaisons entre essences, taille et type de bois mort dans une surface donnée) 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.

A 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.

L'intérêt de certains types de bois mort pour la conservation de la biodiversité (assemblages originaux, riches en espèces à fort indice patrimonial) est confirmé mais différent dans les deux essences :

- intérêt des chandelles (chêne) et des souches (pin), micro-habitats concentrateurs d'une biodiversité saproxylique générale, mais aussi hébergeant de nombreux taxa spécifiques,
- intérêt des gros bois,
- contribution originale (même si plus modeste) des pièces de petits et très petits diamètres (moins de 5 cm).

Ces résultats permettent de répondre à la demande itérative de justification des forestiers (est-il nécessaire de conserver des grosses pièces ? l'intégrité de la biodiversité est-elle altérée si la forêt ne comporte que du bois mort de petit diamètre ?...).

Dans certains peuplements à faible volume de bois mort au sol, mais fort volume de bois mort suspendu, l'éventuel rôle compensatoire que pourrait jouer le bois mort du houppier des arbres vivants est tempéré par la forte différenciation des assemblages occupant les branches mortes perchées ou gisantes.

Nous avons observé que la richesse moyenne par lot semblait indépendante du volume de bois mort local (chêne, Rambouillet – 3.2.1.2.) ; ce premier résultat indique qu'il n'est pas plus favorable à la biodiversité de retenir une pièce de bois intéressante dans un peuplement riche en bois mort que dans un peuplement pauvre. L'étude de l'influence du contexte local sur la biodiversité d'un type de pièce devra toutefois être approfondie, probablement au moyen d'approches expérimentales, en disposant des substrats-pièges vierges et de type variable dans différents contextes.

A l'échelle pièce, les courbes d'accumulation pourraient donner des informations sur le volume objectif par type de bois mort, nécessaire à la caractérisation ou à la conservation d'une proportion importante de la biodiversité associée. Les pièces ici compilées dans la courbe d'accumulation s'étalent à l'échelle du massif, et non à l'échelle locale. On peut remarquer qu'à partir d'une quinzaine de lots de pièces fraîches ou très cariées en chêne, le taux d'accroissement de la richesse spécifique totale devient très faible.

Un faisceau d'arguments, en faveur de la diversité des essences du bois mort, émerge des résultats :

- * la présence de feuillus a un effet positif sur la RS des Coléoptères saproxyliques de la placette en plantation de pin maritime (probablement plutôt à titre d'effet indirect d'une moindre intensité de gestion, plutôt que par la diversité d'essences de bois mort) ;
- * le nombre d'essences de bois mort est le seul descripteur de la nécromasse à effet significatif sur la composition des assemblages de Coléoptères saproxyliques à Rambouillet (10% de l'inertie) ;
- * les assemblages de Mycètes lignicoles sur les principales essences feuillues de la chênaie rambolitaine (chêne, charme, bouleau, tremble) sont tous significativement dissimilaires en terme de composition spécifique (même si le chêne arbore le plus grand nombre d'espèces) ;
- * les volumes locaux de bois mort de bouleau et de tremble ont respectivement un effet positif sur la RS des mycètes lignicoles et l'abondance des espèces rares de Coléoptères à Rambouillet.

4. L'indicateur de biodiversité fondé sur le volume de bois mort a-t-il un sens en valeur absolue, ou seulement en rapport avec le peuplement vivant ?

Plusieurs résultats mettent en exergue l'importance de contextualiser le bois mort pour en étudier l'effet du volume :

- ❖ effet faible mais positif et significatif du ratio nécromasse/biomasse sur la richesse des Coléoptères (station B seulement), des Mycètes lignicoles (stations A et B) ;
- ❖ effet du volume de bois mort sur la richesse des coléoptères saproxyliques, dépendant de la station à Rambouillet, car non significatif en station A et faiblement positif en station B ;
- ❖ Apports à l'inertie de variables de contexte comme la densité de peuplement ou le couvert complémentaires à l'indicateur volumique de bois mort dans les Landes (3.2.3.) ;

Afin de prendre en compte l'ensemble des facteurs importants pour la structuration des assemblages de Coléoptères saproxyliques, il serait pertinent de considérer des variables environnementales complémentaires à celles qui décrivent la quantité et la qualité des ressources. La combinaison d'informations sur l'environnement local permettrait de construire un indicateur composite susceptible d'améliorer la prédiction de la richesse spécifique.

Gestion forestière

Une éventuelle norme de volume de bois mort doit donc être contextualisée et considérer des variables environnementales complémentaires.

5. Quid d'un indicateur de biodiversité fondé sur la surface terrière des gros arbres (porteurs de micro-habitats saproxyliques plus nombreux et plus variés, sources de bois mort au sol) ?

Cet indicateur, proposé par Grove (2002), n'est pas envisageable dans les peuplements équiens à densité homogène, comme les plantations des Landes.

A Rambouillet, la surface terrière des gros arbres (de diamètre > 50 cm) et la surface terrière des gros arbres dépérissants aux 3 échelles locales n'ont pas d'effet positif significatif, au contraire, sur la biodiversité (Tab. ?). Cela pourrait traduire une mauvaise mesure de ce compartiment ou un gradient étudié trop étroit et une variance de la densité de gros arbres trop faible.

Gestion forestière et densité de gros arbres

Nos données à Rambouillet n'apportent pas d'éléments écologiques convaincants pour justifier le maintien de gros arbres ou d'arbres dépérissants. Mais le plan d'échantillonnage n'était pas stratifié sur ce facteur, peut-être insuffisamment variable dans nos placettes. Ce résultat collatéral de notre étude devrait donc être complété par un plan d'échantillonnage dédié.

6. Influence de l'hétérogénéité des situations forestières

Notre approche sur 2 régions, multiscalaires à Rambouillet et dans les Landes, multitaxinomique et dans 2 types de stations à Rambouillet, livre un lot de résultats plutôt contrastés, qui souligne la difficulté de généraliser des indicateurs simples sur les relations entre variables mésologiques et biodiversité.

Comment justifier les divergences d'effets observés. Causes possibles

Quelles différences invoquer entre les plantations de pin des Landes et la chênaie gérée de Rambouillet, ou entre les deux types stationnels à Rambouillet (chênaie claire à molinie et fougère aigle et chênaie-charmaie) pour justifier la différence de significativité des relations entre descripteurs dendrométriques de nécromasse et biodiversité des coléoptères?

Le premier registre de causes potentielles relève de la méthodologie des relevés écologiques.

- La représentativité locale de l'échantillon de faune circulante par rapport à la faune locale pourrait être moindre dans la chênaie claire que dans la chênaie-charmaie en raison de la présence accrue d'individus touristes mobiles dans un peuplement riche en couloirs de vol.
- Les descripteurs dendrométriques du bois mort pourraient refléter moins bien l'environnement biologique des coléoptères saproxyliques dans la chênaie que dans la pinède landaise, dans le cas où la biodiversité saproxylique des chênaies serait majoritairement associée à des micro-habitats des gros et vieux arbres, mal quantifiés dans le protocole dendrométrique. Or, les données autécologiques actuellement disponibles ne permettent pas de dissocier les groupes écologiques associés aux micro-habitats des vieux arbres dans l'assemblage saproxylique. Toutefois, la diversité des coléoptères saproxyliques ne s'est pas révélée corrélée à la densité locale des gros arbres, et les résultats du volet 'émergence' illustrent la diversité de la faune associée aux différents bois morts.

La confusion dans notre plan d'échantillonnage à Rambouillet par un différentiel d'ancienneté forestière est difficile à invoquer, toutes les placettes (sauf 1) étant déjà forestières d'après la Carte des chasses du Roi en 1770.

Le second registre de causes potentielles est d'ordre écologique. Il se range principalement derrière l'hypothèse d'une plus faible saturation des communautés saproxyliques locales dans les chênaies de Rambouillet que dans les plantations des Landes, et dans la chênaie claire à fougère que dans la chênaie-charmaie. En cas de faible saturation des assemblages locaux, Cornell (1999) prédit alors que les variables locales ont moins d'impact que les variables paysagères et régionales. Cette hypothèse a été avancée pour expliquer la faible réponse des Diptères saproxyliques Mycetophilidae à la nécromasse locale (Okland et al., 2005).

A Rambouillet, une saturation des communautés saproxyliques plus faible dans les chênaies claires que dans les chênaies-charmaies ?

Dans les chênaies claires sur sols plutôt acides (soit la moitié des placettes à Rambouillet), le bois mort est localement dans des conditions humides, mais surtout enseveli dans un tapis de molinie et surtout de fougère aigle, qui le rend peut-être moins accessible et attractif pour la colonisation des Coléoptères saproxyliques. Les effets dendrométriques sur la biodiversité seraient donc moins significatifs que dans les chênaies-charmaies où le bois mort au sol est davantage accessible (et où en effet la RS des coléoptères répond faiblement mais significativement au volume et à la diversité des bois morts).

De plus, en cas de dominance par des espèces très mobiles dans les assemblages échantillonnés dans la chênaie claire, la corrélation attendue entre descripteurs locaux de bois mort et de biodiversité est faible.

Une saturation des communautés saproxyliques plus faible dans les chênaies de Rambouillet que dans les plantations de pin des Landes ?

Plusieurs hypothèses sous-jacentes :

- A Rambouillet, le stock de bois mort actuel est dominé par le bois mort d'origine catastrophique et ponctuelle (dégâts abandonnés de la tempête de 1999) ; la relation moins significative entre volume de ressource et biodiversité pourrait être due en partie à la colonisation incomplète de cette offre massive et brutale de ressources par les populations locales existantes. De plus, ce bois mort majoritaire est d'origine hivernale, et cette saison de mise à disposition du substrat n'est pas la plus bénéfique à la colonisation des substrats (Brustel, com. pers.). A l'inverse, dans les Landes, le stock de bois mort est principalement d'origine anthropique (rémanents d'éclaircie et de coupe finale) et assez simplement modélisé selon l'âge du peuplement (Brin et al., 2008). Les dégâts de tempête sont davantage nettoyés. Cet apport de substrat plus régulier et prévisible permettrait une colonisation plus complète des substrats par les populations locales.
- Les assemblages saproxyliques sur chêne sont naturellement reconnus plus diversifiés que sur pin, en raison d'une décomposition plus lente et de trajectoires de saproxylation plus diversifiées. Le pool d'espèces potentielles est donc plus large.
- Dans les Landes, les assemblages locaux de coléoptères saproxyliques sont davantage saturés par rapport au pool d'espèces régional. En effet, la gestion des plantations de pin maritime des Landes impose un filtre de sélection sur le pool régional d'espèces en réduisant de façon drastique la disponibilité en pièces de gros volumes et à un stade de décomposition avancé. Un effet de filtre exercé depuis plus de 150 ans par la matrice forestière landaise, dominée par les plantations de pin maritime, et déjà suggéré à propos des espèces associées aux feuillus (Barbaro et al., 2005) aurait déjà pu réduire le pool d'espèces saproxyliques en favorisant celles capables de coloniser ces landes récemment boisées et/ou de survivre dans un habitat fragmenté et dépourvu de certains micro-habitats.
- Le volume moyen de bois mort est-il plus constant sur l'ensemble du plan d'échantillonnage landais ? A Rambouillet, les placettes riches en bois mort seraient isolées dans des paysages pauvres en bois mort. Rappelons que le plan d'échantillonnage landais reposait sur une grille de points systématique, alors qu'en chênaie, la sélection a porté notamment sur des points de concentration locale de bois mort (plutôt repérables dans des zones pauvres en bois mort). Or Okland et al. (1996) ont suggéré que la corrélation entre la diversité saproxylique et le volume de bois mort locaux n'était pas significative, si le paysage alentour (400 ha) était pauvre en bois mort.

7. Importance de la régularité – continuité de l'approvisionnement en bois mort

La contribution originale et riche de chaque stade de décomposition renforce l'intérêt de la continuité d'approvisionnement dans les stocks de bois mort, plutôt que des apports massifs ponctuels et des cohortes de bois mort qui se dégradent de concert. L'importance de cette continuité du bois mort est discuté par Bouget & Brustel (in press).

D'autre part, un des facteurs invoqués pour expliquer la différence de significativité des relations bois mort / biodiversité entre nos différents terrains repose sur l'insaturation des communautés, elle-même potentiellement liée à la régularité (voire la prévisibilité) de l'apport de bois mort (cf ci-dessus).

4.3. DES RESULTATS ECOLOGIQUES VERS LA GESTION FORESTIERE : QUELLES JUSTIFICATIONS A LA RETENTION DE BOIS MORT ?

Envisager des améliorations en termes de gestion du bois mort nécessite une clarification des objectifs poursuivis, dans un dialogue entre institutions politiques, forestiers et écologues.

1. S'agit-il de favoriser l'installation d'autres espèces saproxyliques appartenant au pool régional pour accroître la biodiversité locale ? Les espèces qui vont bénéficier des mesures sont-elles déjà présentes dans la matrice et verront leurs populations renforcées ou s'agit-il de nouvelles espèces qui viendront depuis des zones sources éloignées ? Dans le premier cas, cela supposerait qu'elles aient trouvé malgré tout un refuge dans le bois mort déjà présent. 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 (avant le délai traditionnel de 3 ans pour la lutte contre l'hylobe).
2. Souhaite-t-on renforcer le complexe d'espèces auxiliaires pour qu'il constitue un moyen de lutte préventive efficient contre certains insectes ravageurs ?

Des bénéfices fonctionnels ?

Une question émerge à plusieurs reprises de l'enquête sociologique : peut-on espérer des bénéfices fonctionnels (pour l'écosystème, voire pour la sylviculture) en conservant davantage de bois mort dans le paysage ?

Rôle écologique de la biodiversité

Quelle assurance fonctionnelle représente la diversité saproxylique face aux aléas biologiques ou climatiques ? Par exemple, l'abondance et la diversité des prédateurs au sein du cortège saproxylique sont-elles liées au volume et à la diversité du bois mort local ? 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) considèrent en effet qu'une lutte biologique basée sur la conservation et l'amélioration du pool local d'espèces prédatrices et parasitoïdes constitue probablement la stratégie la plus prometteuse contre les Scolytes.

Ce rôle de réservoir de prédateurs auxiliaires du bois mort n'est pas évident dans nos données :

- A Rambouillet, l'abondance ou la richesse des coléoptères saproxyliques prédateurs (auxiliaires) ne sont significativement liées à aucun des quantificateurs dendrométriques. Dans les Landes, en revanche, on observe une relation significative entre le volume de bois mort frais ou le volume de bois mort total et la richesse spécifique en prédateurs, mais aucun effet significatif sur l'abondance en prédateurs.
- D'autre part, à l'échelle de la pièce, l'abondance des prédateurs est plus forte dans les chandelles de pin et de chêne que dans les souches et les grumes au sol.

Diversité fonctionnelle

Dans les Landes comme à Rambouillet, la diversité fonctionnelle (trophique) ne semble pas influencée de manière significative par les volumes ou la diversité des bois morts. Elle est également peu influencée par la classe de diamètre du bois mort au sol, le type de gros diamètre, ou la strate des branches mortes. En revanche, elle se révèle plus forte dans les stades de dégradation D2 et D3, moins dominés par les xylophages secondaires que le bois mort frais.

Un intérêt patrimonial

Pour protéger des espèces saproxyliques, quel volume de bois le sylviculteur est-il prêt à sacrifier ? A quels types de bois morts sont associées les espèces rares ? Sont-elles liées au volume et à la diversité des bois morts ?

A Rambouillet, l'abondance et le nombre d'espèces rares ne sont pas sensibles à la classe de décomposition. Elles sont aussi nombreuses dans les branches mortes des houppiers vivants que dans les branches mortes au sol, mais moins présentes dans les très petites pièces (<5cm) que dans les autres classes de diamètre. Dans la station B seulement, le nombre d'espèces rares de coléoptères saproxyliques est positivement corrélé au volume, à la diversité de bois mort et au ratio nécromasse/biomasse à 0.03ha.

Importance des chandelles de chêne pour les espèces rares

Sur l'ensemble des placettes, l'abondance des espèces rares est positivement influencée par un volume local croissant de bois mort debout. D'autre part, les chandelles de chêne hébergent une abondance et une richesse des espèces rares significativement plus importantes que dans les autres types de pièces (comme Sverdrup-Thygeson et Ims, 2002 l'avaient montré en Norvège).

Le volume de gros bois mort au sol n'a pas d'effet significatif sur l'abondance ou le nombre d'espèces rares, et il n'y a pas davantage d'espèces rares en abondance et en richesse dans les grosses pièces que dans les petites et les moyennes. Ainsi, nos résultats ne font pas écho au résultat scandinave d'un effet du nombre de gros bois morts plutôt que du volume total de bois mort sur certaines espèces rares de coléoptères (Siitonen et Saaristo, 2000). Pour le pin comme pour le chêne, manque 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. Le manque de polypores et de bryophytes saprolignicoles dans les relevés signale ce manque de troncs très décomposés.

Quels coûts techniques ? économiques ? phytosanitaires ?

Une analyse du rapport entre les coûts et le bénéfices du bois mort et de la biodiversité reste à produire en termes économiques (Chevalier, 2008)

Les résultats de l'étude exploratoire confirment que le risque de chute d'arbres ou de branches associé aux arbres morts, sénescents ou à cavité est très limité en forêt et les dommages majoritairement matériels et de faible gravité. Le coût des réparations, dans le cas des accidents matériels, est en général limité. Ce risque ne justifierait aucunement des exploitations systématisées à visée sécuritaire, ou des restrictions d'accès généralisées aux forêts. Le cas des risques liés à l'exploitation pour les professionnels mérite une analyse complémentaire spécifique.

Des mesures de prévention (signalisation des chantiers), de sensibilisation du public (incitation à des comportements de prudence) semblent suffisantes pour maintenir le risque à un niveau très faible, même avec une quantité de bois mort en augmentation. La prise en charge des assurances responsabilité civile par la collectivité publique est une voie complémentaire pour concilier ouverture des forêts au public et maintien d'arbres morts et de vieux bois notamment en forêt privée.

Les forestiers insistent sur les contraintes supplémentaires associées à la rétention de bois mort dans les travaux de reboisement, au delà de la perte économique directe. C'est notamment le cas dans les itinéraires techniques des Landes, pour éviter que les pièces de bois mort conservées ne soient détruites seulement 2 ou 3 ans après.

Ils manifestent également de profondes préoccupations phytosanitaires (notamment pendant la régénération avec *Fomes* et *Hylobe*), qui n'étaient pas l'objet de notre étude écologique. Il semble toutefois qu'un effort pédagogique surtout soit nécessaire pour clarifier les liens entre les bois morts et les quelques espèces de Mycètes ou de xylophages à risque.

Conclusion

Nous voyons l'importance du rapport dialectique qu'entretiennent la production de normes pour l'action et la production de connaissances. Si la construction de catégories de connaissances telle que celle des bois morts a une dimension normative, la production de normes comporte réciproquement une dimension cognitive. Il est donc important que la communauté des prescripteurs de normes de gestion du bois mort – les scientifiques, les associations environnementalistes, les institutions forestières – répondent à certaines interrogations des propriétaires et des gestionnaires forestiers avant de négocier avec eux des normes de gestion du bois morts. Il s'agit de dire clairement avec qui et comment définir les règles du bon ou du mauvais usage des ressources et en l'occurrence du bois mort ainsi que les objectifs de gestion que les acteurs souhaitent se donner en matière de conservation des bois morts et de la biodiversité associée. Il y a enfin des questions pour lesquelles les enquêtés attendent des réponses comme celles sur l'interdépendance entre une espèce animale ou végétale et un support comme le bois mort, celle des divers types de risques associés à la présence ou à l'absence de bois mort, de l'intérêt des bois morts pour la sylviculture ou pour la filière bois énergie....

Toutes ces interrogations n'ont pas de réponses complètes et immédiates de la part des écologues qui insistent sur le caractère contextuel des données écologiques recueillies et donc des préconisations émises. Il paraît donc d'autant plus pertinent de marquer les limites de la connaissance et de laisser les acteurs locaux négocier certaines normes et formes d'action dans l'attente de connaissances plus approfondies, ce que Billaud (2003) qualifie de « nature négociée des résultats scientifiques ».

4.3. ACQUERIR DES CONNAISSANCES SUPPLEMENTAIRES : UN BESOIN...QUELLES STRATEGIES ?

4.3.1. LES MOYENS D'ACQUISITION DE NOUVELLES CONNAISSANCES

D'autres études observationnelles sur des gradients plus larges ou des gradients ciblés (cf conclusion générale) permettraient d'acquérir des connaissances complémentaires, mais elles sont souvent limitées par l'existant. Deux voies sont envisageables pour dépasser cette frontière.

1. Recours à la modélisation :

Plusieurs auteurs ont proposé des outils de prédiction des effets de la gestion forestière sur la quantité d'habitat d'une espèce menacée, en développant des indices traduisant la capacité d'accueil d'un peuplement et en couplant ces modèles d'habitat avec des simulateurs de dynamique du paysage (Tikkanen et al., 2007). Le problème est d'identifier des espèces représentatives de groupes d'espèces. Ranius et Jonsson (2007) n'ont pas réussi à identifier un volume minimum de bois mort permettant le maintien de toutes les espèces saproxyliques. Selon Ranius et Fahrig (2006) les espèces les plus « exigeantes » requièrent des quantités de bois mort pratiquement impossibles à atteindre dans les peuplements gérés.

2. Intérêts d'un réseau de gestion adaptative du bois mort

La modélisation et la simulation comparent des scénarios sylvicoles, mais ne se substituent pas à une observation directe des effets de la gestion forestière sur la biodiversité. D'autre part, dans une revue sur l'efficacité des recommandations actuelles pour la conservation des invertébrés saproxyliques, Davies *et al.* (2008) soulignent l'absence de connaissances sur les effets réels à long-terme des différentes opérations sylvicoles.

4.3.2. REFLEXIONS POUR UNE GESTION ADAPTATIVE DU BOIS MORT⁹

Dans un contexte social et scientifique changeant, l'articulation entre gestionnaires, scientifiques voire citoyens peut prendre des formes nouvelles. Une organisation classique est ce qu'on pourrait appeler la gestion basée sur les acquis de la recherche : elle consiste à réaliser régulièrement des synthèses reposant sur les acquis scientifiques, techniques et empiriques accumulés sur un sujet donné et d'en tirer des enseignements pour la gestion forestière (ex. Gosselin et Laroussinie, 2004 ; Legay *et al.* 2007). C'est une approche tout à fait justifiée quand l'activité de recherche a engrangé suffisamment de connaissances et que les incertitudes liées à la question ne sont pas trop fortes. Elle peut néanmoins montrer ses limites si l'application de connaissances forcément fragmentaires aux réalités du terrain s'avère difficile, par exemple à cause d'un manque de recherche finalisée ou de contextualisation des résultats.

Une autre forme d'organisation proposée plus récemment est ce qu'on appelle la gestion "adaptative". Cette gestion vise à développer des connaissances à partir du processus de gestion lui-même (Cordonnier & Gosselin, Soumis). C'est la mise en place en forêt domaniale d'une telle gestion pour la gestion du bois mort qui a été le centre de notre réflexion dans cette partie du projet RESINE.

4.3.2.1. Intérêts et limites de la gestion adaptative active

Le premier point issu de ce travail a été une réflexion sur les intérêts et les limites de la gestion adaptative en même temps qu'une vulgarisation du concept pour les gestionnaires forestiers français (Cordonnier & Gosselin, Soumis).

La gestion adaptative passive est assez fréquente dans la gestion actuelle des forêts ; elle consiste à mettre en place une gestion considérée comme optimale – mais qui peut dépendre des conditions stationnelles, des demandes sociales... – ainsi qu'un système de suivi associé. Les guides de sylviculture suivent cette procédure, pour ce qui est de la partie production de bois. Par la mise en place d'un seul type de gestion, cette approche limite les opportunités d'amélioration et d'apprentissage, ce qui pose problème dans des contextes où le corpus de connaissances se révèle somme toute limité. Un exemple typique est fourni par le cas de la chouette tachetée, qui a fait l'objet d'un suivi assez fouillé et dont la dynamique est toujours négative malgré le plan de gestion forestière supposé lui être favorable (Gosselin, Sous Presse).

C'est pourquoi nous avons plutôt réfléchi aux avantages et inconvénients de la gestion adaptative dite "active", qui inclut en plus une variation délibérée des modes de gestion : au lieu de suivre une gestion dite "optimale", on met en place différents types de gestion jugés a priori intéressants, dont on espère pouvoir apprendre davantage. Ce type de gestion a été mis en place à diverses reprises, le plus souvent en dehors d'Europe. Les échecs sont nombreux, en raison des maintes difficultés associées à la mise en oeuvre de ce nouveau processus : des difficultés de fonds – non partage des objectifs entre acteurs –, des difficultés de moyens et de conduite de projet, enfin des difficultés culturelles et sociales. Elle offre néanmoins de nombreux avantages potentiels :

- le développement de connaissances davantage adaptées au système géré, puisque développées à partir de ce système ;
- un meilleur transfert et une meilleure appropriation des résultats de la recherche par les gestionnaires ; à l'inverse, une meilleure prise en compte du savoir des gestionnaires par les chercheurs.

4.3.2.2. Pourquoi une gestion adaptative du bois mort?

Le bois mort et les vieux arbres sont des éléments clé pour une partie importante de la biodiversité forestière (cf. reste du projet et Annexe 11, partie II.1). Les gestions en faveur du bois mort et des vieux arbres, mises en place depuis 1993, pourraient utilement être adaptatives, non seulement parce que le système de suivi lié à ces gestions cherche encore ses marques (cf. Annexe 11, partie II.2 et Figure 8), mais aussi à cause de l'incertitude quant aux objectifs précis de ces gestions et aux recommandations quantitatives à proposer : nous manquons clairement d'études expérimentales sur

⁹ J.-M. Brézard (ONF, Agence Moselle) et R. Allain (ONF, Département Forêt, Paris) ont participé à ce volet.

le sujet (Davies et al. 2008), même si les études observationnelles sont assez nombreuses – et émergentes en France grâce à ce projet.

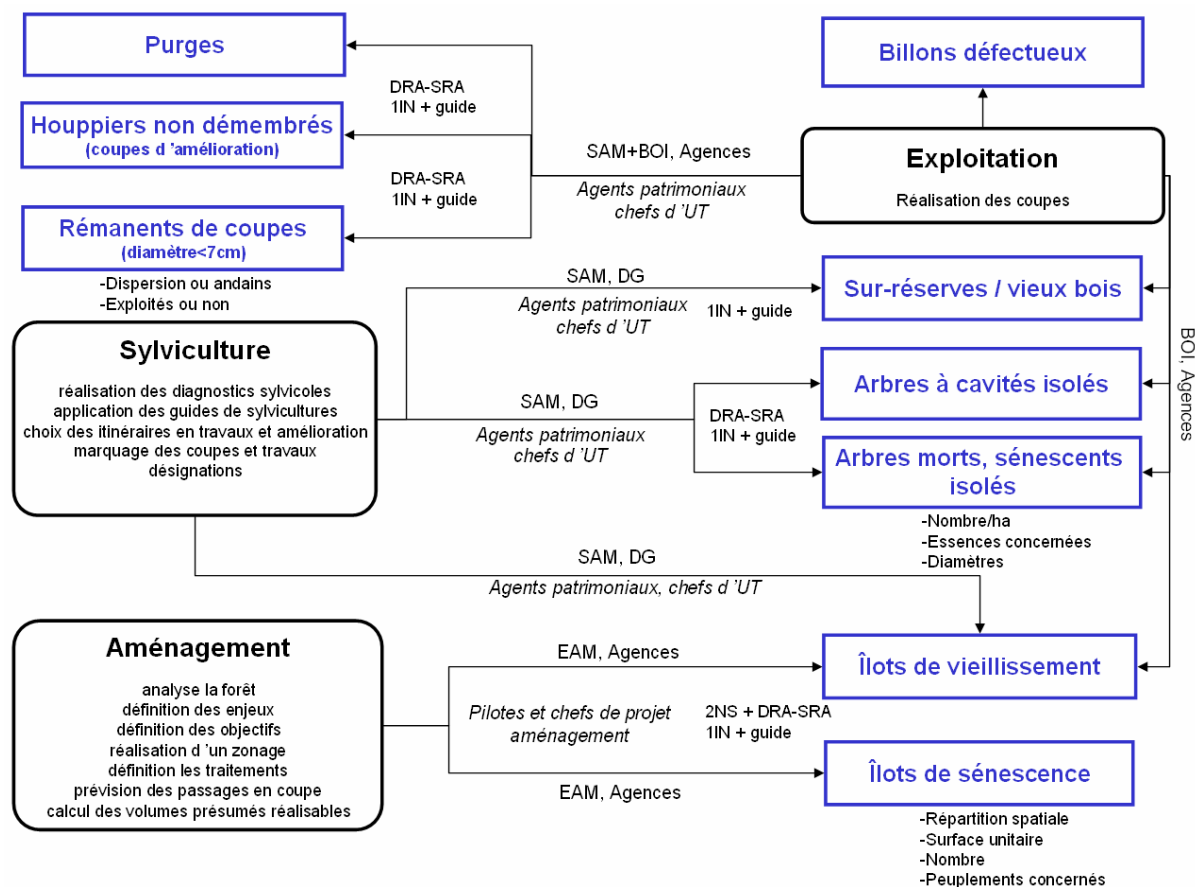


Fig. 8 : schéma conceptuel illustrant les relations en 2008 entre les différents secteurs d'activités de l'ONF (sylviculture, exploitation, aménagement) et leur lien avec les différents objets liés à la production de bois mort, vieux arbres et arbres à cavités. L'activité travaux n'est pas présentée ici car en général, les bois juvéniles coupés lors de cette activité restent en forêt. IN/NS : instruction/note de service ; DRA/SRA : Directive Régionale d'Aménagement/Schéma Régional d'Aménagement ; DG : Direction Générale ; UT : Unité Territoriale ; BOI/SAM/EAM : processus commercialisation des bois, suivi et contrôle de l'aménagement, élaboration des aménagements.

Ainsi dans les recommandations faites pour l'ONF, Gosselin et al. (2006) insistent bien sur le caractère "à dire d'expert" des chiffres proposés pour les gestions en faveur du bois mort. Ces propositions ont besoin d'être évaluées (cf. Annexe 11, II.3), surtout compte tenu des différents engagements de l'ONF en matière de politique environnementale (cf. Annexe 11, II.2). Plusieurs pistes permettraient d'effectuer une telle évaluation quantitative de l'efficacité des gestions. Les deux plus sérieuses nous semblent être :

- (i) une approche réductrice – au bon sens du terme – centrée sur les mécanismes, la démographie de certaines espèces en réponse à ces gestions et la modélisation démographique ;
- (ii) une approche plus systémique et statistique ayant pour but d'évaluer l'impact de différents modalités de gestion à travers une approche expérimentale.

Les deux approches ont leurs limites et leurs intérêts. Elles sont probablement complémentaires. Dans la suite, nous mettrons l'accent sur la seconde approche tout en n'excluant pas d'y inclure la première.

Objectifs généraux et volets

Comme nous l'a appris notre réflexion sur la gestion adaptative, une bonne définition des objectifs du projet est cruciale. Nous y avons consacré un part non-négligeable du projet pour envisager les volets suivants au projet (seul le premier est un peu développé ; cf. Partie IV.1 pour les autres volets)

Biodiversité spécifique et fonctionnelle

La définition d'objectifs en termes de biodiversité n'est pas chose facile à l'échelle de notre projet, et demandera à être travaillée si le projet est mis en œuvre à grande échelle. Nous proposons ainsi néanmoins les pistes suivantes :

- ❖ une gestion sera dite efficace si elle a permis d'augmenter, après n années, de manière quantitative la biodiversité (richesse, abondance) de l'entité de biodiversité évaluées dans les zones exploitées concernées par cette gestion.
- ❖ une gestion sera dite plus efficace qu'une gestion dite classique (par exemple la plus intensive ou la gestion "ONF") si elle a permis, après n années, d'augmenter en relatif le niveau de biodiversité de $k\%$.

L'inconvénient du premier objectif est que des facteurs externes à la gestion peuvent également être à l'origine de changements de richesse ou d'abondance. Nous avons par ailleurs aux indicateurs chiffrés cibles associés à ces objectifs (Annexe 11, III.1).

Nous avons aussi réfléchi aux indicateurs chiffrés cibles associés à ces objectifs (IV.1). Nous avons aussi défini des critères et indicateurs associés à ces volets : Fertilité des sols - Stockage de carbone - Evaluation économique - Dimension sociale - Dimension juridique - Dimension technique, même si beaucoup reste à faire en termes de protocoles.

Propositions de gestions alternatives

Nous avons enfin identifié les types de gestion qu'il nous semble utile de tester dans un projet de gestion adaptative du bois mort. Elles concernent trois volets :

- ❖ la quantité (entre 0 et 8% de la surface, avec une moyenne à 3%) et le type d'îlots de vieux bois (vieillesse ou sénescence, avec plus de surface en vieillissement qu'en sénescence) (variables continues) ;
- ❖ la quantité et la qualité des arbres bio de différents types (selon 4 modalités) ;
- ❖ la récolte ou non des rémanents.

Le type d'échantillonnage prévu serait un échantillonnage à blocs incomplets équilibrés, qui verrait dans chaque massif domaniaux participant à l'expérimentation l'identification de zones de 50 à 300 ha environ – la surface reste à définir – auxquelles on affecterait un objectif d'îlots et un objectif d'arbres bio. La problématique rémanent ne serait abordée que dans les massifs disposant d'une filière "rémanents" structurée, auquel cas chaque zone précédemment citée serait divisée en deux : une de ces sous-zones verrait les rémanents exploités, et l'autre les rémanents laissés sur place.

Une analyse de puissance statistique est actuellement en cours pour mieux cerner les nombres de massif et nombres de points d'échantillonnage nécessaires pour détecter avec suffisamment de chances une tendance fixée, pour différentes combinaisons de paramètres.

Et après?

Il est clair que le contexte forestier est actuellement moins favorable à ce genre de projets qu'au lancement du projet RESINE. Nous essaierons néanmoins de convaincre les partenaires potentiels qu'une vraie évaluation de la qualité environnementale – ici pour la biodiversité – de la gestion pratiquée nécessite à tout le moins un suivi de qualité, voire une approche de type expérimental telle que promue ici.

Il reste aussi à motiver des collègues écologues, économistes, sociologues et juridiques de nous rejoindre dans ce projet.

5. Conclusion et perspectives

1. Réflexions sur l'inter-disciplinarité

Entre le début et la fin du projet, on constate une évolution des questions de recherche initiale qui envisageaient l'apport de la sociologie comme un moyen de mettre à jour les facteurs clefs permettant de sensibiliser les propriétaires et de changer leurs comportements. A l'inverse, les sociologues ont pris soin de ne pas tomber dans l'attitude consistant à adopter une posture systématiquement critique vis-à-vis des connaissances produites par les écologues au nom d'un constructivisme pur comme le constate Clarys-Mekdada (2005) à propos de certains travaux interdisciplinaires.

Néanmoins, au cours de ce projet, les chercheurs sont tout de même restés sur une description des objets étudiés selon les méthodes propres à leur discipline. Le choix d'une interdisciplinarité instrumentale a été possible entre les différents domaines de l'écologie ce qui s'est traduit par un dispositif commun de recueil des données. Mais ce type d'interdisciplinarité n'a pas été possible avec la sociologie dont les méthodes et les instruments étaient radicalement différents.

La collaboration interdisciplinaire s'est ainsi structurée autour du forestier plutôt que de l'objet 'bois mort', sur les idées suivantes :

- se concentrer sur une description des objets selon des méthodes propres à chaque discipline puis confronter ces visions sans que l'une ou l'autre ne prétende détenir une part absolue de vérité. Cela consiste plutôt à mesurer les écarts et les recouvrements que chaque discipline pouvait avoir en matière de connaissance d'un même objet.
 - Pour les écologues, il s'agissait aussi de saisir la part idéologique des notions de conservation des bois morts, notion qui émerge dans un contexte scientifique et social particulier. Les travaux des sociologues leur ont aussi permis de comprendre les choix technico-économiques des forestiers, d'appréhender leurs difficultés à préserver certains éléments de biodiversité, et de se rendre compte du niveau de connaissance pertinent pour l'action.
 - A l'inverse, l'approche interdisciplinaire a obligé les sociologues à prendre en compte la réalité physique et matérielle de la faune et de la flore associée au bois mort et dont la présence ou l'absence n'était pas forcément liée et expliquée par un acte de gestion ou une décision humaine (cas des régulations internes aux réserves biologiques intégrales, aux aléas climatiques) ;
- mettre en commun ces différents types de savoir – commun et scientifique – autour de l'objet bois mort de façon à produire des connaissances nouvelles qui ne se réfèrent pas exclusivement à l'une ou l'autre discipline. C'est notamment pour cela que les sociologues se sont fait l'écho des interrogations des acteurs de terrains et qu'en retour, les écologues ont apporté des éléments de réponse, sachant que de gros efforts de vulgarisation restent tout de même à mener par les conseillers forestiers ;
- sans viser la production d'une norme, se concentrer sur les conditions d'une production négociée de normes visant la gestion conservation des bois morts. 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. Il ne s'agissait pas en effet 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). A défaut de l'avoir fait de façon significative dans le cadre du projet, l'objectif de cette proposition est d'associer aussitôt que possible les acteurs de terrain dans le processus de définition de normes de gestion. Il ne faudrait pas en effet que l'exigence d'interdisciplinarité facilite les échanges entre scientifiques mais qu'elle passe du coup sous silence le dialogue avec les acteurs de terrain

Au-delà des connaissances disciplinaires nouvelles, l'un des principaux résultats interdisciplinaires de cette collaboration est la prise en compte de déterminants d'un niveau de biodiversité associé au bois mort qui ne dépendent pas seulement de critères physiques de volumes, de diamètre ou de répartition spatiale ou de stades de décomposition mais aussi de déterminants socio-économiques comme la structure de propriété, le réseau social où le gestionnaire se construit son opinion sur la gestion des bois morts, son rapport plus global à la nature et la place qu'il attribue à la forêt dans cet ensemble....

2. Perspectives de recherche sociologiques ou socio-économiques

Quelques pistes de recherche en prolongement de l'étude sociologique :

- déterminer quel groupe social devra consentir le plus d'effort vis-à-vis de la conservation des bois morts ? quel groupe en bénéficiera le plus ? Les enquêtes réalisées en 2006 et 2007 tendent à montrer que plus le propriétaire a de surface, plus il lui est facile de laisser un volume global de bois mort ; l'effort n'est pas forcément proportionnel à la surface, le plus dur est de franchir le pas, de se dire que l'on va conserver du bois mort ;
- produire des indicateurs socio-économiques spécifiques à la gestion des bois morts afin d'évaluer le coût de telles mesures, notamment estimer la valeur marchande du "bien" que constitue la biodiversité (sa valeur patrimoniale), et définir les bénéfices ou les coûts associés aux "services" rendus par le bois mort ou la biodiversité du bois mort au fonctionnement de l'écosystème, voire à la production forestière.
- étudier les effets sociaux des mesures environnementales proposées (abandon des plus motivés, remotivation des forestiers « distants »...)

- par une enquête sociologique quantitative, mesurer la prévalence des différents profils identifiés dans l'enquête qualitative, à l'échelle d'une population statistique plus large d'acteurs forestiers

3. Perspectives de recherche écologiques

Elargir les gradients d'étude (échelle spatiale, gradients écologiques et géographiques)

Faut-il se donner comme objectif de gestion un volume moyen minimum de bois mort à maintenir sur le territoire ? Faut-il aussi s'assurer que certaines portions de ce territoire contiennent des quantités importantes de bois mort ? Dans les Landes, à l'échelle de 400m de paysage autour des placettes, la quantité de bois mort n'a pas d'effet significatif sur la composition des assemblages de Coléoptères saproxyliques. On peut supposer que : (i) pour la plupart des espèces, l'ordre de grandeur de la capacité de dispersion est supérieure à 400m, ou (ii) l'approximation de la quantité de bois mort par corrélation à l'âge des peuplements environnants est trop grossière. De même, à Rambouillet, nous n'avons pas observé de différence forte de l'effet du volume de bois mort aux différentes échelles locales de 0.07, 0.3 et 0.9ha, ce que suggère pourtant la littérature européenne avec des variations d'effet entre 0.01 et 1 ha. 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) rend 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 20m à 1600m (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. L'approche paysagère explorée dans les Landes devra être approfondie en développant (i) une mesure adéquate de la densité de la ressource 'bois mort' à une échelle large, et (ii) une approche croisant les facteurs volume de bois mort local / volume dans le paysage.

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 biodiversité sur un gradient géographique et sylvicole plus large (le retrait initial par le GIP Ecofor du 3^e terrain prévu dans la hêtraie sapinière pyrénéenne (de complexité intermédiaire) est d'ailleurs regrettable).

Le développement d'un projet à couverture territoriale nationale pourrait profiter par ex. des placettes françaises du projet BioSoil, où les données de nécromasse sont déjà disponibles.

Après l'exploration d'un large gradient de volume total de bois mort local, il nous semble intéressant d'étudier un gradient plus large des volumes de certains types de bois morts. En effet, la variance du volume de certains types de bois mort intéressants était ici probablement trop faible pour analyser l'effet de leur volume local sur la biodiversité. Ces remarques invitent donc à une validation complémentaire de nos résultats à partir d'un échantillonnage balayant des gradients plus importants, notamment pour les chandelles et les grumes au sol sur chêne, les souches ou le bois mort frais sur pin.

Nos résultats confirment que les coléoptères saproxyliques constituent un groupe forestier diversifié qui répond à certains gradients de nécromasse. Une richesse spécifique importante a été observée dans les 2 massifs, y compris dans la forêt de plantation des Landes (par rapport à d'autres groupes taxinomiques), et comportait plusieurs espèces dites « rares » ou « patrimoniales ». L'analyse des indicateurs de biodiversité directs simplifiés (basés sur l'abondance individuelle d'une sélection d'espèces), initiée par Brin et al. (in press) pourrait être approfondie au moyen d'une co-analyse des données Landes-Rambouillet, avec des approches complémentaires (richesse générique, richesse de certaines combinaisons de familles faciles à déterminer et corrélées à la richesse totale...).

L'approche directe des indicateurs avec d'autres descripteurs de biodiversité moins « neutres » que la richesse spécifique (nombre d'espèces d'intérêt patrimonial, nombre d'espèces auxiliaires, diversité fonctionnelle), initiée ici sur les données de Rambouillet, pourrait être élargie mais implique une connaissance précise de l'écologie, du rôle fonctionnel et de la chorologie des espèces.

De façon générale, pour améliorer l'approche fonctionnelle de la biodiversité, la compilation de données autécologiques pour chaque espèce (Langor et al., 2008), notamment les préférences de micro-habitat, la méthodologie des mesures de micro-habitats, doivent être poursuivies (Bouget et al., 2008).

Les approches sociologiques et/ou écologiques ultérieures pourront être positionnées dans le cadre d'enjeux spécifiques, comme le développement du bois énergie (une thèse d'écologie sur ses impacts sur la biodiversité ainsi qu'une thèse de sociologie sur la coproduction de normes et de connaissance sur la biodiversité forestière ont commencé au Cemagref en 2008).

BIBLIOGRAPHIE

- Bader, P., Jansson, S. and Jonsson, B.G., 1995, Wood-inhabiting fungi and substratum decline in selectively logged boreal spruce forests. *Biological Conservation* 72, 355-362.
- Barbaro L, Pontcharraud L, Vétillard F, Guyon D, Jactel H, 2005. Comparative responses of birds, carabid, and spider assemblages to stand and landscape diversity in maritime pine plantation forests. *Ecoscience*, 12:110-21.
- Bartoli M. & Gény B., 2005. Il était une fois... le bois mort dans les forêts françaises. *Revue Forestière Française*, vol. LVII, n° 5, p. 443-456.
- Berger P. & Luckmann T., 1996. La construction sociale de la réalité. Armand Colin, 2ème édition (édition originale : *The Social Construction of Reality*, 1966), Paris, 288 p.
- Billaud J.-P., 2003. De l'objet de l'interdisciplinarité à l'interdisciplinarité autour des objets. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 11, n° 1, p. 29-36.
- Blandin P., 1995. Dans la forêt des idées reçues : regards d'un écologue. In: *La forêt, les savoirs et le citoyen*, (eds Meiller D. ; Vannier P.), ANCR, Châlon-sur-Saône, p. 69-73.
- Bouget C. & Brustel H., 2008. Continuité des micro-habitats dans l'espace et dans le temps et conservation de l'entomofaune saproxylique. Colloque 'Biodiversité, naturalité, humanité', 27-31/10/2008, Chambéry
- Bouget C., 2005. Short-term effect of windstorm disturbance on saproxylic beetles in broadleaved temperate forests. Part II : effects of gap size and gap isolation. *Forest Ecology and management*, 216 (1-3) : 15-27
- 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. et Nageleisen L.M., 2005. Nomenclature des groupes écologiques d'insectes liés au bois: synthèse et mise au point. *Comptes-Rendus Biologies*, 328, p. 936-948
- Bouget C., Brustel H. et Zagatti A., 2008. The French Information System on Saproxylic BEetle Ecology (FRISBEE): an ecological and taxonomical database to help with the assessment of forest conservation status. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 63 (suppl. 10) : 25-28
- Bredesen, B., Haugan, R., Aanderaa, R., Lindblad, I., Okland, B. and Rosok, O., 1997, Wood-inhabiting fungi as indicators on ecological continuity within spruce forests of southeastern Norway. *Blyttia* 55, 131-140.
- 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*, vol. 256, n° 5, p. 913-921.
- Bruciamacchie M., 2005. Protocole de suivi d'espaces naturels protégés. ENGREF - MEDD, Nancy, 40 p.
- Chevalier, H., 2008, Évaluer le coût de pratiques sylvicoles en faveur de la biodiversité forestière. Rapport de fin d'études, AgroParisTech- Engref, Formation des ingénieurs Forestiers, Nancy.
- Claeys-Mekdade, 2005. Une sociologue face à l'interdisciplinarité : éloge du doute méthodologique. *Nature Sciences Sociétés*, vol. 13, p. 189-193.
- CMPFE, 2003. Improved pan-european indicators for sustainable forest management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe., Vienna, 6 p.
- Cordonnier, Th. & Gosselin, F. La gestion adaptative : intégrer l'acquisition des connaissances parmi les objectifs de gestion. Manuscrit soumis.
- Cornell, H. V. 1999. Unsaturation and regional influences on species richness in ecological communities: a review of the evidence. *Ecoscience* 6:303-315
- Davies ZG, Tyler C, Stewart GB, Pullin AS, 2008. Are current management recommendations for saproxylic invertebrates effective? A systematic review. *Biodiversity and Conservation*, 17:209-234.
- Davies, Z.G., Tyler, C., Stewart, G. B., and Pullin, A. S. (2008), "Are Current Management Recommendations for Saproxylic Invertebrates Effective? A Systematic Review," *Biodiversity and Conservation*, 17, 209-234.
- Deuffic P., 2007. Deadwood for biodiversity or energy savings ? An environmental dilemma for foresters. In: 8th conference of European Sociological Association (ESA), Research network 12 : Environment and Society, University of Glasgow, 3-6 septembre 2007, p. 13.
- Dobré M. ; Lewis N. ; Granet A.-M., 2006. Comment les Français voient la forêt et sa gestion. *Rendez-vous techniques*, vol. 11, n° hiver 2006, p. 55-63.
- Dubar C., 1996. La socialisation. Construction des identités sociales et professionnelles. Armand Colin, 2ème éd. (éd. originale 1991), Paris, 276 p.

- Fayt, P., M. Dufrene, E. Branquart, P. Hastir, C. Pontegnie, J.-M. Henin, and V. Versteirt. 2006. Contrasting Responses of Saproxyllic Insects to Focal Habitat Resources: The Example of Longhorn Beetles and Hoverflies in Belgian Deciduous Forests. *Journal of Insect Conservation* 10:129-150
- Fridman, J. & Walheim, M., 2000, Amount, structure and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest ecology and management* 131, 23-36.
- Gibb H, Hjalten J, Ball JP, Atlegrim O, Pettersson RB, Hilszczanski J, Johansson T, Danell K, 2006. Effects of landscape composition and substrate availability on saproxyllic beetles in boreal forests: a study using experimental logs for monitoring assemblages. *Ecography*, 29:191-204.
- Gosselin, F. (in press) Management on the Basis of the Best Scientific Data Or Integration of Ecological Research Within Management? Lessons Learned From the Northern Spotted Owl Saga on the Connection Between Research and Management in Conservation Biology, Biodiversity and Conservation.
- Gosselin, M., and Laroussinie, O. (eds.), 2004. Biodiversité Et Gestion Forestière : Connaître Pour Préserver - Synthèse Bibliographique, Antony: Co-édition GIP Ecofor - Cemagref Editions.
- Gosselin, M., Valadon, A., Bergès, L., Dumas, Y., Gosselin, F., Baltzinger, C., et Archaux, F. (2006), Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : état des connaissances et recommandations, Nogent-sur-Vernisson: Cemagref.
- Grove, S.J., 2002, Tree basal area and dead wood as surrogate indicators of saproxyllic insect faunal integrity : a case study from the Australian lowland tropics. *Ecological Indicators* 1, 171-188.
- Hahn K. et Christensen M., 2004. Dead wood in European Forest Reserves - a reference for forest management. In Marchetti M. (Eds), *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe - From ideas to operationality*, p. 181-191.
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, K., Jr and Cummins, K.W., 1986, Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in ecological research* 15, 133-302.
- Holland JD, Bert DG, Fahrig L, 2004. Determining the spatial scale of species' response to habitat. *BioScience*, 54:227-33.
- Hottola, J., and J. Siitonen. 2008. Significance of woodland key habitats for polypore diversity and red-listed species in boreal forests. *Biodiversity and Conservation* 17:2559-2577
- Huhndorf S., Lodge D., Wang, C.J. et Stokland J., 2004. Macrofungi on woody substrata. In Mueller G., Bills G. et Foster M. (Eds), *Biodiversity of Fungi. Inventory and Monitoring methods*. Elsevier, Burlington, p. 159-163.
- 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*, vol. 15, p. 81-89.
- Jonsell, M. and Weslien, J., 2003, Felled or standing retained wood - it makes a difference for saproxyllic beetles. *Forest Ecology and Management* 175, 425-435.
- Jonsson, B.G. and Kruys, N., 2001, Ecology of woody debris in boreal forests, *Ecological Bulletins*, 49
- Kalaora B., 2000. Trajectoires : la forêt visitée par le sociologue. *Environnement et Société*, vol. 24, p. 33-39.
- Kalaora B., 2001. A la conquête de la pleine nature. *Ethnologie française*, vol. XXXI, n° 4, p. 591-597.
- Kenis M, Wermelinger B, Grégoire J-C, 2004. Research on parasitoids and predators of Scolytidae. In *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis.*, F Lieutier, KR Day, A Battisti, J-C Grégoire, HF Evans (ed.), pp. 237-90. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Langor DW, Hammond HEJ, Spence JR, Jacobs J, Cobb TP, 2008. Saproxyllic insect assemblages in Canadian forests: diversity, ecology, and conservation. *Canadian Entomologist*, 140:453-74.
- Larrère C. & Larrère R., 1997. *Du bon usage de la Nature : pour une philosophie de l'environnement*. Aubier, Paris, 355 p.
- Larsson, T., 2001, Biodiversity Evaluation Tools for European forests. *Ecological Bulletins*, 50.
- Legay, M., Mortier, F., et al. 2007. ONF, *Rendez-Vous Techniques*, hors-série n°3, Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques : 95-102.
- Martikainen, P., J. Siitonen, P. Punttila, L. Kaila, and J. Rauh. 2000. Species richness of Coleoptera in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. *Biological Conservation* 94:199-209
- McGeoch, M. A., M. Schroeder, B. Ekbohm, and S. Larsson. 2007. Saproxyllic beetle diversity in a managed boreal forest: Importance of stand characteristics and forestry conservation measures. *Diversity and Distributions* 13:418-429

- Micoud A., 2002. La biodiversité, un objet social certes, mais quel objet sociologique ? . In: Biodiversité et appropriation : les droits de propriété en question, (ed Vivien F.-D.), NSS, collection environnement, Elsevier, Paris, p. 195-204.
- Micoud A., 2005. La biodiversité est-elle encore naturelle ? . *Ecologie et Politique*, vol. 30, p. 17-26.
- Müller, J., Büssler, H. and Kneib, T., 2008, Saproxyllic beetle assemblages related to silvicultural management intensity and strand structures in a beech forest in southern Germany. *Journal of Insect Conservation* 12, 107-124.
- Norden, B., Gotmark, F., Tonnberg, M. and Ryberg, M., 2004, Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. *Forest Ecology and Management* 194, 235-248.
- Ohlson, M., L. Söderström, G. Hörnberg, O. Zackrisson, and J. Hermansson. 1997. Habitat qualities versus long-term continuity as determinants of biodiversity in boreal old-growth swamp forests. *Biological Conservation* 81:221-231
- Okland, B., Bakke, A., Hagvar, S. and Kvamme, T., 1996, What factors influence the diversity of saproxyllic beetles? A multiscaled study from a spruce forest in southern Norway. *Biodiversity and Conservation* 5, 75-100.
- Økland, B., F. Gotmark, B. Norden, N. Franc, O. Kurina, and A. Polevoi. 2005. Regional diversity of mycetophilids (Diptera: Sciaroidea) in Scandinavian oak-dominated forests. *Biological Conservation* 121:9-20
- ONF, 1993. *Prise en compte de la diversité biologique dans l'aménagement et la gestion forestière*. Guide. Office national des forêts, Paris, 32 p.
- Penttilä, R., J. Siitonen, and M. Kuusinen. 2004. Polypore diversity in managed and old-growth boreal *Picea abies* forests in southern Finland. *Biological Conservation* : 271-283
- Ranius T, Fahrig L, 2006. Targets for maintenance of dead wood for biodiversity conservation based on extinction thresholds. *Scandinavian Journal Forest Research*, 21:201-8.
- Ranius T, Jonsson M, 2007. Theoretical expectations for thresholds in the relationship between number of wood-living species and amount of coarse woody debris: A study case in spruce forests. *Journal for Nature Conservation*, 15:120-30.
- Rigolot E., 2005. Bois mort et risque d'incendie de forêt. In *Bois mort et à cavités : une clé pour des forêts vivantes*, D Vallauri, J André, B Dodelin, R Eynard-Machet, D Rambaud (ed.), pp. 181-92. Paris: Editions Tec&Doc.
- Rubino, D. and 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 saproxyllic insect species diversity. *Écoscience* 7: 290-298
- Schuck A., Meyer P., Menke N., Lier M. et 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*, p. 49-77.
- Schütz A., 1987. *Le chercheur et le quotidien*. Méridiens Klincksieck, (édition originale : *The problem of social reality*, Collected papers I, 1962) Paris, 286 p.
- Siitonen J. et 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, p. 211-220
- Siitonen, J., 1994, Decaying wood and saproxyllic Coleoptera in two old spruce forests: a comparison based on two sampling methods. *Annales Zoologici Fennici* 31, 89-95.
- Simila, M., J. Kouki, M. Monkkonen, A. L. Sippola, and E. Huhta. 2006. Co-variation and indicators of species diversity: Can richness of forest-dwelling species be predicted in northern boreal forests? *Ecological Indicators* 6:686-700
- Similä, M., Kouki, J. and Martikainen, P., 2003, Saproxyllic beetles in managed and seminatural Scots pine forests: quality of dead wood matters. *Forest Ecology and Management* 174, 365-381.
- Similä, M., Kouki, J., Martikainen, P. and Uotila, A., 2002, Conservation of beetles in boreal pine forests: the effects of forest age and naturalness on species assemblages. *Biological Conservation* 106, 19-27.
- Sippola A., Siitonen J. et Kallio R., 1998. Amount and quality of coarse woody debris in natural and managed coniferous forests near the timberline in Finnish lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13, p. 204-214.

Stokland J., Tomter S. et 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*, EFI, p. 207-226.

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

Tikkanen OP, Heinonen T, Kouki J, Matero J, 2007. Habitat suitability models of saproxylic red-listed boreal forest species in long-term matrix management: Cost-effective measures for multi-species conservation. *Biological Conservation*, 140:359-72.

Vallauri D, 2005. Le bois dit mort, une lacune des forêts en France et en Europe. In *Bois mort et à cavités : une clé pour des forêts vivantes*, D Vallauri, J André, B Dodelin, R Eynard-Machet, D Rambaud (ed.), pp. 9-17. Paris: Editions Tec&Doc.

RESUME

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.

Une approche similaire a été conduite dans deux régions forestières, concernant 2 essences d'importance économique majeure en France : (i) la forêt de plantation de pin maritime des Landes de Gascogne et (ii) la chênaie de plaine en Forêt Domaniale de Rambouillet.

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.

Tout en rappelant le faible engouement moyen suscité par les enjeux de biodiversité, l'enquête sociologique met notamment en exergue : (i) le besoin de données normatives pour une rétention raisonnée de bois mort, (ii) les fortes préoccupations des gestionnaires landais vis-à-vis des risques phytosanitaires associés aux bois morts et (iii) le besoin d'une justification fonctionnelle de la rétention de bois mort dans l'écosystème. Une 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 les dommages majoritairement matériels et de faible gravité.

Menée dans 2 régions (et dans 2 types de stations à Rambouillet), à plusieurs échelles (pièce de bois, peuplement et paysage), sur plusieurs taxa (Mycètes lignicoles et Coléoptères saproxyliques surtout, Chiroptères et Bryophytes corticoles secondairement), notre étude écologique livre un lot de résultats plutôt contrastés, qui souligne la difficulté de généraliser des normes sylvicoles et des indicateurs simples et universels fondés sur le bois mort.

Sur chêne et pin, les 4 facteurs décrivant les pièces de bois mort étudiées (type, strate, diamètre, décomposition) influencent significativement les assemblages saproxyliques. Toutefois, la relation entre descripteurs locaux du bois mort (volume, diversité, volumes élémentaires) et richesse locale des organismes saproxyliques est forte dans les Landes mais faible voire nulle à Rambouillet. Aucun effet significatif du volume de bois mort dans le paysage (jusqu'à 400m) n'est observé sur la biodiversité saproxylique dans les Landes.

Plusieurs résultats mettent en exergue l'importance de contextualiser une éventuelle norme de volume de bois mort en considérant des variables environnementales complémentaires. Une alternative à la gestion d'une cible de volume total de bois mort résiderait dans l'augmentation du nombre de types de bois morts dans les Landes, et plutôt dans l'augmentation du volume de certains types de bois morts déterminants pour la biodiversité à Rambouillet (chandelles et les gros bois morts au sol).

Les éventuels bénéfices fonctionnels et l'intérêt patrimonial de la conservation de bois mort dans le paysage, éléments cruciaux du dialogue entre institutions politiques, forestiers et écologues, sont discutés sur la base de nos résultats.

Parmi les moyens à mettre en œuvre pour acquérir des connaissances complémentaires, nous explicitons les intérêts et la configuration potentielle d'un réseau de gestion adaptative active du bois mort dans les forêts domaniales.

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

ABSTRACT

DEAD WOOD IN FOREST MANAGEMENT : SOCIAL REPRESENTATIONS AND INTERESTS FOR BIODIVERSITY

Dead wood is a key factor for forest biodiversity and one of the indicators of sustainable forestry. The RESINE project aims at:

- increasing the background knowledge about dead wood and biodiversity, to validate or improve the indirect biodiversity indicators based on dead wood and environmentally-friendly forest practices, on the one hand,
- assessing the forest actors' attitude and beliefs about dead wood on the other hand,
- in order to identify the conditions of elaboration of common initiatives about dead wood management.

A common approach was carried out in 2 forest regions, concerning 2 tree species of major economic importance in France: (i) pine plantations in the Landes region, and (ii) lowland oakwoods in Rambouillet state forest.

The results of the social survey, conducted with 64 interviewed actors, showed a diversity of practices and attitudes about forest management, as well as divergences concerning dead wood issues. Six classes of attitudes were identified (intensive producers, wise producers, distant producers, alternative producers, naturalists, forest users). They differed in terms of management practices, level of ecological knowledge, ecological interest, social networks, aesthetic judgement, risk perception and financial needs.

While stressing the weak general interest in biodiversity issues, the social study peculiarly highlighted: (i) a need for normative data to help with dead wood retention, (ii) deep concerns of forest stakeholders regarding pest risks associated to dead wood, (iii) a need for functional arguments in favour of dead wood retention in the ecosystem. The analysis of accidents and claims in state forests in 2003 and 2004 confirmed that the risk of tree or branch falling related to dead and veteran trees is quite low and the induced damages are most of the time not serious.

The ecological study was conducted in 2 forest regions (and two stand types in the Rambouillet site), at different scales (dead wood piece, forest stand and landscape), with different taxa (mainly saproxylic fungi and beetles, but also corticolous Bryophytes and bats). The results were contrasted, which emphasizes the difficulty of generalization of forestry norms and simple universal surrogates.

The 4 quality descriptors of pine and oak dead wood pieces (type, vertical position, diameter, decay class) significantly influenced saproxylic assemblages. Nonetheless the relationship between local dead wood predictors (volume, diversity, volume by type) and species richness was strong in the Landes data, but weak or null in the deciduous Rambouillet site. In the Landes site, the dead wood volume in the landscape (under 400m) did not significantly affected the local biodiversity.

Many of our results strengthened the importance of contextualizing the forest management standards by considering complementary environmental variables.

Alternative management strategies to a target dead wood volume would be an increase in dead wood diversity in the Landes forest, and an increase in the volume of certain types of dead wood in Rambouillet (especially snags and very large lying woody debris).

On the basis of our results, we discuss some crucial points in the dialogue between policy-makers, foresters and ecologists, i.e. the potential functional and patrimonial benefits associated to dead wood retention in forest landscapes.

The role of a network of adaptive management plots in French state forests is argued to keep on acquiring ecological data.

Key-words : saproxylic ; biodiversity ; indirect biodiversity indicator ; forest management ; forestry ; dead wood ; CWD ; attitudes and beliefs ; sociology ; ecology ; fungi ; beetles

TABLE DES MATIERES

1. Rappel succinct des objectifs	5
2. Déroulement du projet, matériel et méthodes	6
2.1. Régions d'étude, forêts et essences choisies.....	6
2.2. Méthodes.....	6
2.2.1. Méthodes sociologiques.....	6
2.2.1.1. Cerner les représentations des acteurs forestiers. Cadre théorique, matériau, méthodes.....	6
2.2.1.2. Enquête 'sécurité'.....	7
2.2.2. Mesurer la valeur écologique des bois morts pour la biodiversité.....	8
2.2.2.1. Méthodes d'étude écologiques à l'échelle locale.....	8
2.2.2.2. Caractérisation écologique à l'échelle du paysage.....	8
2.2.2.3. Analyse des données écologiques.....	8
2.3. Inflexions en cours de projet.....	9
3. Résultats	11
3.1. Le bois mort en forêt : quelles représentations pour les acteurs forestiers ?.....	11
3.1.1. Des enquêtés aux univers de pensées et de pratiques forestières spécifiques.....	11
3.1.2. Bois morts, insectes et cie.....	12
3.1.3. Place, rôle et stratégie de gestion du bois mort et de la faune/flore associées.....	12
3.1.3.1. Le bois mort, un sous produit de la sylviculture ou un élément indispensable de l'écosystème ?.....	13
3.1.3.2. Le propre et le sale, une esthétique très discutée.....	13
3.1.3.3. Des risques variables pour les personnes, les biens et les peuplements.....	14
3.1.3.4. Les risques associés aux bois morts et vieux arbres pour la sécurité du public : une approche exploratoire en forêt domaniale.....	15
3.1.3.5. De l'isolé à l'îlot, des changements d'échelle spatiales et temporelles significatifs....	16
3.1.3.6. Le bois mort pour la biodiversité ou le bois énergie ?.....	17
3.2. Quelle valeur écologique pour les bois morts ? Bois mort et biodiversité à différentes échelles spatiales.....	17
3.2.1. Valeur différentielle des types de bois mort.....	17
3.2.1.1. Influence de quelques propriétés des pièces de bois.....	18
3.2.1.1.1. La strate occupée par les branches mortes.....	18
3.2.1.1.2. Le stade de décomposition du bois mort au sol.....	19
3.2.1.1.3. La classe de diamètre du bois mort au sol.....	19
3.2.1.1.4. Le type de gros bois mort.....	21
3.2.1.1.5. L'essence de bois mort au sol (Mycètes seulement).....	21
3.2.1.2. Autres facteurs d'influence sur la faune colonisant un type de pièce.....	22
3.2.2. Stocks locaux de bois mort et biodiversité locale.....	22
3.2.2.1. Profil dendrométrique des placettes.....	22
3.2.2.2. Descripteurs de la nécromasse et biodiversité : quelles variables clés ?.....	23
3.2.2.2.1. Effets du stock de bois mort local sur la RS locale de plusieurs taxa saproxyliques.....	23
3.2.2.2.2. Effets du stock de bois mort local sur la composition des assemblages saproxyliques.....	26
3.2.3. Stocks de bois mort dans le paysage environnant et biodiversité locale.....	28
4. Discussion et transferts	29
4.1. Le bois mort, un problème public qui appelle la production de connaissances et de normes ?.....	29
4.2. Des résultats...vers les indicateurs indirects de biodiversité et la gestion forestière.....	30
4.3. Des résultats écologiques vers la gestion forestière : quelles justifications de la rétention de bois mort ?.....	34
4.3. Acquérir des connaissances supplémentaires : un besoin...quelles stratégies ?.....	36
4.3.1. Les moyens d'acquisition de nouvelles connaissances.....	36
4.3.2. Réflexions pour une gestion adaptative du bois mort.....	37
4.3.2.1. Intérêts et limites de la gestion adaptative active.....	37
4.3.2.2. Pourquoi une gestion adaptative du bois mort?.....	37

5. Conclusion et perspectives.....	39
Bibliographie.....	42
Résumé	46
Abstract	47
Table des matières.....	48
