



# Le bois mort,

un attribut vital  
de la biodiversité  
de la forêt naturelle,



une lacune  
des forêts gérées



•  
**Rapport scientifique**

•  
**Mai 2002**



► **Daniel Vallauri**

WWF-France  
188 rue de la Roquette, 75011 Paris  
Tél. : 00 33 (0)1 55 25 84 84  
Fax : 00 33 (0)1 55 25 84 74  
e.mail : dvallauri@wwf.fr

► **Jean André**

Université de Savoie, LDEA  
73376 Le Bourget-du-Lac cedex  
e.mail : andre@univ-savoie.fr

► **Jacques Blondel**

CEFE-CNRS UPR 9056  
1919 route de Mende  
34293 Montpellier cedex 5  
e.mail : blondel@cefe.cnrs-mop.fr

**Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier de leur relecture et échange sur le sujet :  
Monsieur Pierre-Michel Nageleisen (DERF département Santé des forêts),  
Olivier Gilg (Réserves Naturelles de France),  
Joseph Garrigue et l'équipe de la Réserve Naturelle de la Massane.

# Sommaire

► Introduction.....	4
► Le monde vivant des bois morts.....	6
<b>UN ENSEMBLE DE STRUCTURES AUX MULTIPLES FACETTES</b> .....	6
<b>VIE ET MORT DU BOIS DANS UN ÉCOSYSTÈME FORESTIER</b> .....	6
<b>BIODIVERSITÉ À TOUS LES ÉTAGES</b> .....	9
Une biodiversité insoupçonnée.....	9
Trois grands groupes fonctionnels.....	11
Des besoins variés et précis.....	11
Une biodiversité dynamique dans le temps.....	12
Une biodiversité menacée.....	12
Encart : Décomposition du bois : rôle initial des pourritures blanches et rouges.....	13
► Structure et dynamique du bois mort dans les forêts naturelles.....	14
<b>QUELQUES REMARQUES PRÉALABLES</b> .....	14
<b>LE VOLUME DE BOIS MORT</b> .....	14
<b>LA DENSITÉ DES ARBRES MORTS</b> .....	16
<b>RÉPARTITION SPATIALE DU BOIS MORT</b> .....	16
<b>DYNAMIQUE DU BOIS MORT DANS LES FORÊTS NATURELLES TEMPÉRÉES</b> .....	16
Le taux de mortalité naturelle.....	16
Taux de mise au sol des volis et arbres entiers morts sur pied.....	18
Taux de décomposition du bois au sol.....	18
► Vers une gestion écologique du bois mort en forêt.....	19
<b>LE BOIS MORT DANS LES FORÊTS GÉRÉES</b> .....	19
<b>PROPOSITIONS D'ORIENTATIONS TECHNIQUES</b> .....	21
Des normes sylvicoles pour conserver le bois mort.....	21
La non-exploitation des forêts protégées.....	23
► Ecologiquement correct contre socio-économiquement durable.....	24
<b>TOUTE POLITIQUE A UN COÛT</b> .....	24
Encart : Les Scolytes attaquent !.....	25
<b>ÉT LE PRIX DE LA FIXATION DU CARBONE PAR LE BOIS MORT ?</b> .....	25
Encart : Sécurité et responsabilité en forêt.....	27
► Conclusion.....	29
► Références.....	30





# Introduction

Le forestier gère la vie et la mort des arbres pour optimiser la production de bois. Par la sylviculture, il anticipe la mort des arbres, des plus jeunes (mort par éclaircie au lieu d'une mort par compétition) comme des plus vieux (coupes sélectives, progressives ou coupes à blanc au lieu d'une mort naturelle individuelle ou par bouquet). L'anticipation de la mortalité des arbres présente trois inconvénients écologiques majeurs. Sans distinction de leurs caractéristiques et de leur intérêt comme habitat spécifique, la perturbation contrôlée qu'est la sylviculture fait disparaître :

- **les arbres âgés et très âgés**, parce que la réduction des âges d'exploitation est l'une des conséquences de l'intensification de la sylviculture en futaie régulière et est considérée comme une solution pour éviter la dépréciation de la valeur commerciale des arbres âgés ;
- **les arbres sénescents ou à cavités**, pour le péril sanitaire systématique qu'ils sont supposés faire peser sur les arbres vivants ;
- **le bois mort**, et ceci avant le début de sa décomposition, la matière morte stockée dans les arbres étant exportée lors des coupes classiques ou sanitaires dès l'apparition d'indices jugés comme dépréciant la commercialisation du bois (champignons xylophages, cavités, gélivure...), ou très vite après un chablis.

Aujourd'hui, les écologues (Dajoz, 1974, Falinski, 1978, Franklin et al., 1987, André, 1997 a et b, Pautz, 1998, Arpin (coord.) 2001... pour ne citer que quelques uns) et de nombreux forestiers (ONF, 1998, Hatsch et al., 1999, Nagelei-

sen, 2002) reconnaissent que le bois mort, par la diversité des micro-habitats qu'il offre, est une composante essentielle pour la conservation de la diversité et du fonctionnement de l'écosystème forestier. Il forme un compartiment clé de l'écosystème forestier naturel :

- c'est la phase catabolique de recyclage dans les écosystèmes forestiers, dont la diversité animale et végétale est d'égale importance à celle de la phase anabolique de croissance ;
- c'est un compartiment fonctionnel garant du stockage d'une énorme masse énergétique et du recyclage ininterrompu des nutriments dans l'écosystème (bouclage des cycles géochimiques du sol), et par conséquent du maintien de la productivité de l'écosystème ;
- c'est un initiateur de segments originaux de la chaîne alimentaire utile à de nombreuses espèces forestières (dont les décomposeurs), influant ainsi de façon directe sur la survie de groupes spécialisés comme par exemple les champignons et les invertébrés saproxylophages (mangeurs de bois, détritivores) ;
- c'est une source de micro-habitats originaux et variés pour une large biodiversité, en premier lieu par les abris formés par l'accumulation de bois au sol et les cavités aériennes ou au sol. En effet, ces micro-habitats sont indispensables pour abriter des espèces aussi variées que les rongeurs, les bryophytes ou les chauve-souris ; ils sont favorables à la reproduction de nombreuses espèces d'oiseaux et d'insectes ; enfin, ils facilitent la régénération naturelle des arbres (Harmon et al., 1986, Stöckli, 1996, Pichery, 2001).

- c'est une biodiversité associée riche de milliers d'espèces en forêt tempérée, recouvrant notamment des espèces patrimoniales devenues rares dans nos forêts, comme le Lucane cerf-volant, la Rosalie des Alpes, le Pique-prune, le Gobe-mouche à collier, le Pic tridactyle, les Noctules... pour ne parler que de quelques espèces particulièrement emblématiques ;
- c'est un compartiment aujourd'hui affaibli par des décennies de gestion forestière, et qui a presque disparu de nos forêts trop consciencieusement " nettoyées ".

Pour se rendre véritablement compte de l'appauvrissement induit par la gestion traditionnelle de la forêt sur ce compartiment, et en tirer des enseignements pour améliorer la gestion courante des forêts, nous nous proposons ici de faire une synthèse des données de la littérature scientifique, à la recherche d'une meilleure connais-

sance du compartiment bois mort dans les forêts de référence, les réserves intégrales tempérées (Europe et Amérique du nord pour l'essentiel).

Que représente le compartiment bois mort dans une forêt naturelle ? Combien représente t-il de micro-habitats différents et d'espèces ? Combien y a t-il de mètres cubes de bois mort décomposé, de chablis ou de volis ? Comment s'exprime une dynamique naturelle du bois mort garantissant une conservation durable des espèces ?

Après une présentation succincte, les principaux résultats quantitatifs sur le bois mort en forêt naturelle sont présentés. Des recommandations pour l'amélioration de la foresterie dans une perspective de gestion durable et donc de la conservation durable des espèces associées au bois mort sont proposées et discutées.



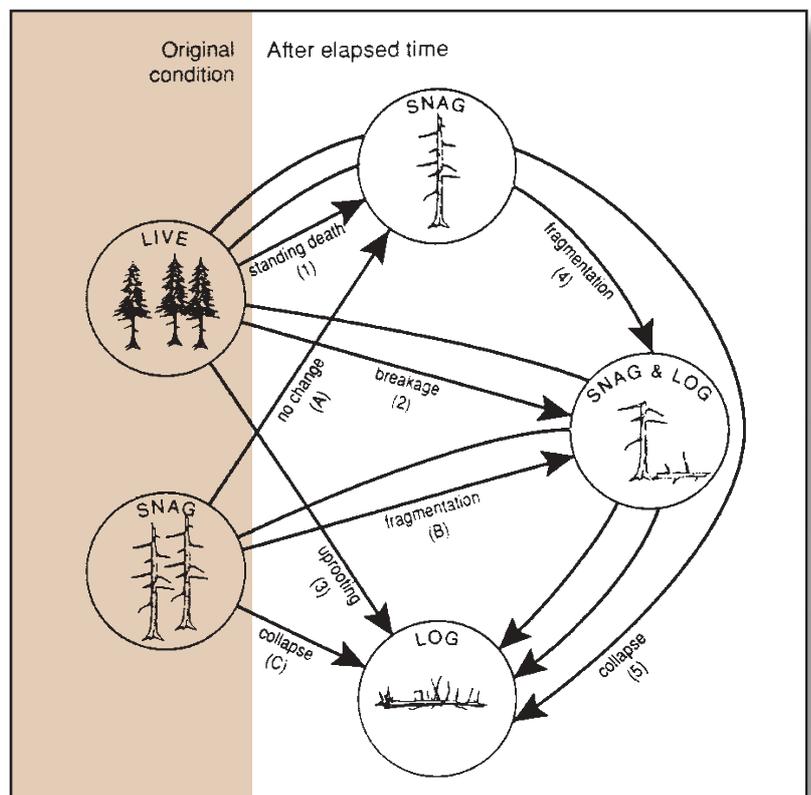


# Le monde vivant des bois morts

## UN ENSEMBLE DE STRUCTURES AUX MULTIPLES FACETTES

Il existe de nombreux types de bois mort (figure 1) en fonction :

- de la position dans l'écosystème, vieux arbres sénescents, chablis (arbre renversé au sol), volis (arbre cassé sur pied), chandelier (arbre entier mort sur pied), fragments de bois brut au sol, débris fins s'incorporant à l'humus ;
- de la taille des éléments (souche, tronc, branche, rameau). Dans les estimations des volumes de bois mort qui suivent, cette donnée de taille est importante (notamment le diamètre de précomptage). La bibliographie est assez hétérogène en la matière. Il est retenu les bois de diamètre supérieur soit à 4 ou 5 cm, soit à 10 cm, mais parfois des diamètres bien plus grands (à ce sujet, citons le protocole de référence qui a été mis au point par Harmon et Sexton (1996) pour les sites du réseau international LTER - Long Term Ecological Research) ;
- de l'essence. Chaque essence a des caractéristiques particulières vis-à-vis de la capacité de formation des chablis ou des volis (en fonction du type de système racinaire et de la résistance du tronc), de cavités de pied ou de tronc, de la vitesse de fragmentation et de décomposition, de la composition chimique des lessivats,...



**Figure 1**  
Les différentes formes d'un arbre mort au fil du temps (Tyrell et Crow, 1994b).

## VIE ET MORT DU BOIS DANS UN ÉCOSYSTÈME FORESTIER

Le compartiment "bois mort", les flux qui l'alimentent et la dégradation du bois dans un écosystème forestier sont un phénomène physique et biologique complexe, résumé dans la figure 2. Il n'est pas inutile de rappeler que l'arbre vivant



*Chablis dans la grande réserve intégrale de Bialowieza (Pologne).*



*Volis marqué par l'ours brun dans les Pyrénées.*

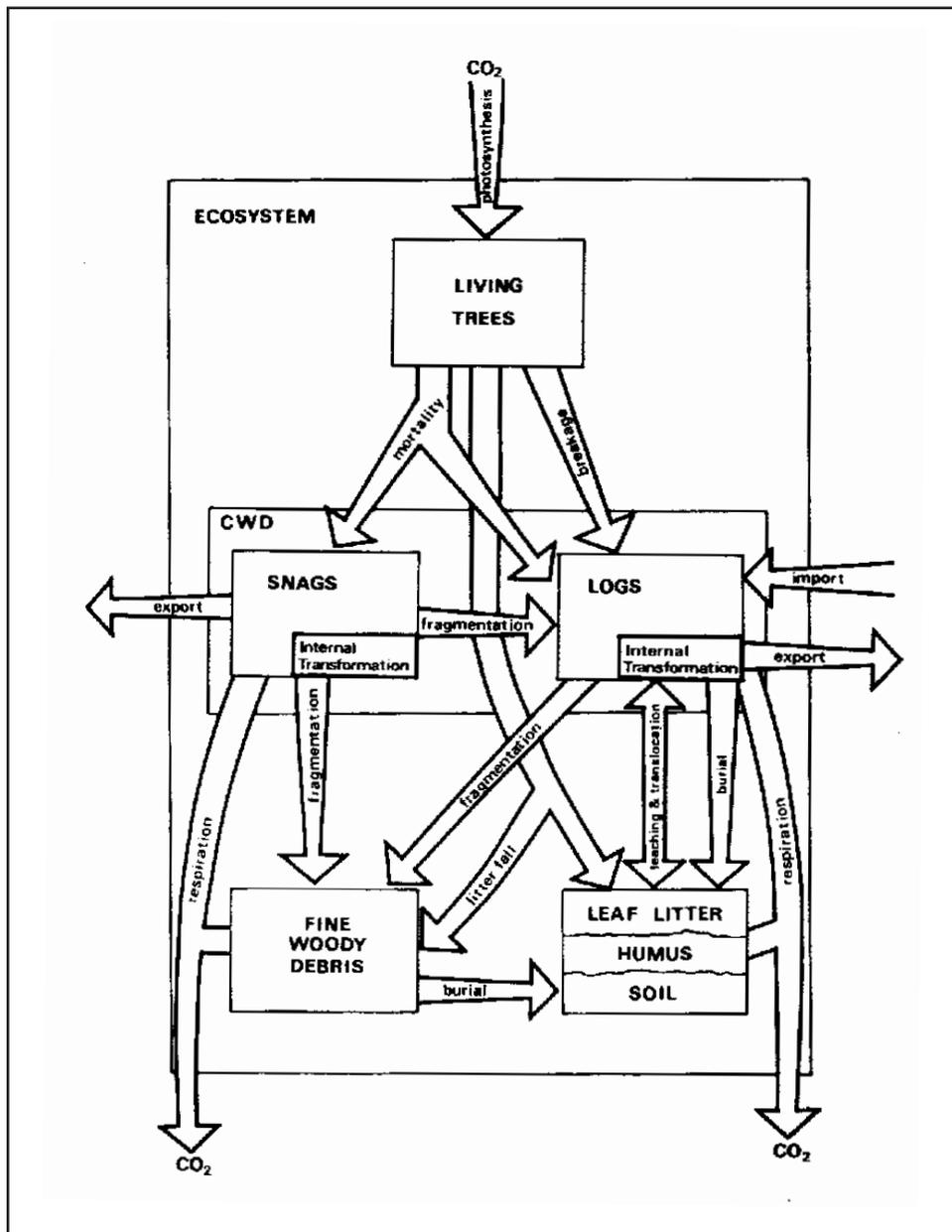


Figure 2

Les flux alimentant le compartiment "bois mort" dans un écosystème forestier (Harmon et al., 1986).  
CWD : coarse woody debris (bois mort).

est composé à plus de 90% de cellules mortes (bois, xylème). Celles-ci forment un stock de bois (et de carbone), dynamique mais durable dans le temps long, en attente de décomposition (Franklin et al., 1987). De même, le sol et la litière transforment et stockent un volume important de matière morte fine. Le compartiment bois mort peut être considéré comme un attribut vital de l'écosystème forestier, un lieu clé d'une activité biologique de surcroît origina-

le car dominée par des processus hétérotrophes (André, 1997 a et b).

Les causes de la mort sont variées et toujours plus ou moins multiples, concordantes et complexes. Compétition (notamment dans les jeunes stades), vieillissement, vent et tempêtes, sécheresses exceptionnelles, ravageurs (scolytes,...), hémiparasites (gui...) et autres maladies (Fomes, Armillaire)..., se conjuguent

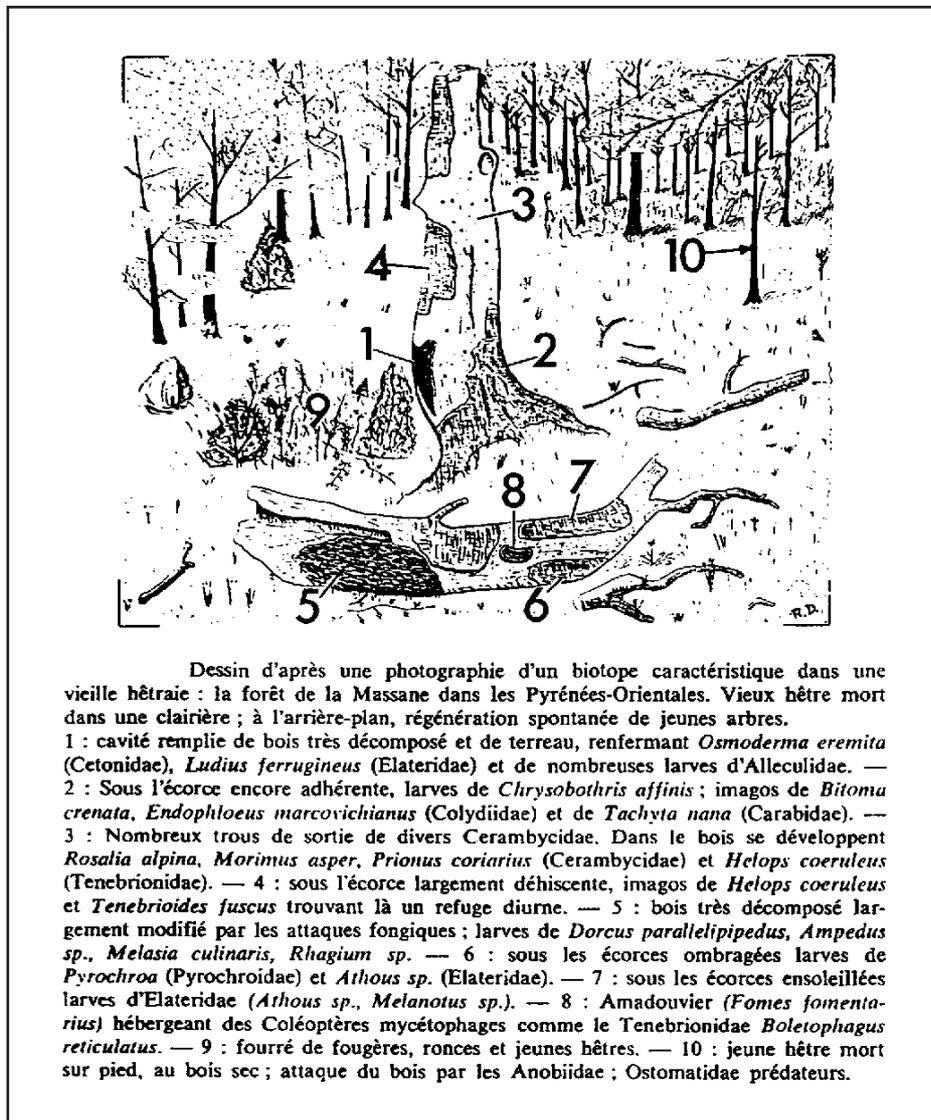
souvent pour aboutir à l'affaiblissement de l'arbre et à sa mort.

Depuis les tempêtes de décembre 1999, le rôle des perturbations dans la dynamique forestière est désormais reconnu par tous : celles-ci sont indispensables à l'évolution de l'écosystème forestier naturel et au maintien de sa biodiversité (Vallauri, 2000). D'une façon plus générale, les perturbations sont devenues un paradigme essentiel de la théorie écologique (Blondel, 1995).

## BIODIVERSITÉ À TOUS LES ÉTAGES

### Une biodiversité insoupçonnée

L'énumération de la biodiversité dépendant du bois mort et des cavités formerait un catalogue épais, tant une kyrielle de micro-habitats particuliers, pour la reproduction, la protection, ou l'alimentation, accueillent des espèces très variées (Dajoz, 1974). Ceux-ci se répartissent sur l'ensemble de la structure verticale de la forêt (figure 3) : chablis et cavités de pied, cavité de tronc, volis, cavité de branches,...



Dessin d'après une photographie d'un biotope caractéristique dans une vieille hêtraie : la forêt de la Massane dans les Pyrénées-Orientales. Vieux hêtre mort dans une clairière ; à l'arrière-plan, régénération spontanée de jeunes arbres.

1 : cavité remplie de bois très décomposé et de terreau, renfermant *Osmoderma eremita* (Cetonidae), *Ludius ferrugineus* (Elateridae) et de nombreuses larves d'Alleculidae. — 2 : Sous l'écorce encore adhérente, larves de *Chrysobothris affinis* ; imagos de *Bitoma crenata*, *Endophloeus marcovicianus* (Colydiidae) et de *Tachyta nana* (Carabidae). — 3 : Nombreux trous de sortie de divers Cerambycidae. Dans le bois se développent *Rosalia alpina*, *Morimus asper*, *Prionus coriarius* (Cerambycidae) et *Helops coeruleus* (Tenebrionidae). — 4 : sous l'écorce largement déhiscente, imagos de *Helops coeruleus* et *Tenebrionides fuscus* trouvant là un refuge diurne. — 5 : bois très décomposé largement modifié par les attaques fongiques ; larves de *Dorcus parallepipipedus*, *Ampedus sp.*, *Melasia culinaris*, *Rhagium sp.* — 6 : sous les écorces ombragées larves de *Pyrochroa* (Pyrochroidae) et *Athous sp.* (Elateridae). — 7 : sous les écorces ensoleillées larves d'Elateridae (*Athous sp.*, *Melanotus sp.*). — 8 : Amadouvier (*Fomes fomentarius*) hébergeant des Coléoptères mycétophages comme le Tenebrionidae *Boletophagus reticulatus*. — 9 : fourré de fougères, ronces et jeunes hêtres. — 10 : jeune hêtre mort sur pied, au bois sec ; attaque du bois par les Anobiidae ; Ostomatidae prédateurs.

Figure 3

Les micro-habitats et quelques exemples d'espèces associées au bois mort (d'après Dajoz, 1974) dans la réserve intégrale de la Massane (Pyrénées orientales, France).

Les forêts naturelles de la zone tempérée européenne sont riches d'une biodiversité dépassant les 5 000 espèces animales ou végétales pour des surfaces réduites (quelques dizaines d'hectares comme Réserve Naturelle de forêt de la La Massane) à plus de 10 000 espèces animales ou végétales dans des paysages forestiers complets (plusieurs milliers d'hectares, comme Fontainebleau ou Bialowieza). Cette biodiversité est à mettre en relation avec les structures verticale et horizontale très variées des boisements en évolution naturelle mais aussi la présence de nombreux micro-habitats. Parmi cette biodiversité, les espèces directement liées au bois mort représentent un groupe important.

Ainsi, dans la Réserve naturelle de la Massane par exemple, Travé et al (1999) constatent qu'un tiers des champignons, soit 103 espèces, sont des décomposeurs du bois. De même, 465 espèces de coléoptères saproxyliques (xylophages, saproxylophages, mycétophages et leurs prédateurs) sont présentes dans la réserve, représentant à elles seules plus de 9,2% de la richesse spécifique globale et comptant de nombreuses espèces patrimoniales, soit endémiques, soit protégées au niveau européen. Les Cerambycidae (69 espèces, dont *Cerambyx cerdo* et *Rosalia alpina*), les Buprestidae (36 espèces), les Cetoniidae (dont *Osmoderma eremita*) et les Lucanidae (dont *Lucanus cervus*) présentent les familles et les espèces patrimoniales de première importance.



*Lucanus cervus*



*Rosalia alpina*



*Cerambyx cerdo*

Dans l'étude plus restreinte (incomplète d'un point de vue taxinomique) de Rauh et Schmitt (1991) dans les Réserves intégrales de Bavière, 36 à 69 espèces de coléoptères saproxyliques sont relevées sur des surfaces de 9 à 45 ha. Il est à souligner que Rauh et Schmitt (1991) montrent que le nombre d'espèces patrimoniales rares est significativement supérieur quand le volume de bois mort augmente. Ainsi, pour des valeurs de bois mort de 84 à 105 m<sup>3</sup>/ha, près du tiers des espèces de coléoptères saproxyliques sont rares (liste rouge).

A la Massane (Travé et al, 1999), près du quart des mammifères (de l'Ecureuil commun à des espèces patrimoniales comme la Noctule de Leisler, le petit Rhinolophe, l'Oreillard commun, la Genette) et 17% des oiseaux nicheurs (Huppe fascié, Pic vert, Pic épeiche, Chouette hulotte) utilisent les cavités d'arbres vivants ou morts.

### Trois grands groupes fonctionnels

Les organismes dépendant directement du bois mort peuvent être rassemblés en trois grandes familles de groupes fonctionnels :

#### Les recycleurs du bois

##### qui s'alimentent de bois mort :

- les xylophages (épixyliques ou saproxyliques), que ce soit les champignons lignivores initiaux, comme la pourriture blanche, ou les champignons saproxyliques (amadouviers) et les coléoptères saproxylophages. La quantité et la qualité (essence, niveau de décomposition) du bois mort sont clé pour le maintien de ces populations ;
- les détritivores qui se nourrissent de matière organique évoluée (champignons, insectes, bactéries...), c'est-à-dire soit du bois mort très évolué soit des fonds de cavités ;



Champignons saproxyliques au pied d'un chêne

#### Les cavicoles qui habitent le bois mort

- les cavicoles, que ce soit des espèces sculptant elles-mêmes des cavités (cavicoles primaires comme les pics), ou bien vivant/nichant dans les cavités existantes (cavicoles secondaires comme les chouettes, le pique-prune ou les chauve-souris arboricoles). Les arbres morts ou vivants les plus intéressants pour la biodiversité des cavernicoles (ceux qui manquent le plus dans nos forêts semi-naturelles) sont les bois de gros diamètres (> 40 cm), support durable de cavités à différentes hauteurs.



Pic cendré

### Des besoins variés et précis

Pour prendre la mesure des besoins en bois mort et cavités, il est nécessaire de mieux comprendre la biologie parfois très précise des espèces. Ainsi, par exemple :

- certains champignons mycorrhiziens n'apparaissent que dans des très vieux peuplements et disparaissent lorsqu'il n'y a plus de gros bois (Froidevaux, 1975 pour un exemple sur les sapinières-pessières). D'une manière générale, aux différentes phases du développement forestier correspondent des cortèges mycorrhiziens et décomposeurs spécifiques ;
- Pasinelli (2000) a montré que seul les chênes, de gros diamètre de surcroît (>36 cm de diamètre), présentent un potentiel maximal pour la formation de cavités de troncs adaptées à la colonisation par le Pic mar (*Dendrocopos*

*medius*), espèce patrimoniale à surveiller au niveau national. Le maintien de gros vieux arbres est ainsi indispensable pour l'espèce ;

- la chouette de Tengmalm est commensale du Pic noir et des cavités qu'il crée ;
- le Pique-prune (*Osmoderma eremita*), un coléoptère rare et protégé au niveau européen se nourrissant de bois et qui vit dans les très vieux troncs présentant certaines conditions spécifiques (bois fragmentés, humidité, température...). La mobilité au cours de la vie et la dispersion de l'espèce ne concernent qu'une faible partie de la population et ne dépasse souvent pas quelques centaines de mètres autour de l'arbre hôte (Ranius, 2000, Ranius et Hedin, 2001). Cette espèce est un cas exemplaire de populations structurées en métapopulations. Ainsi, l'absence de bois mort régulier répondant aux caractéristiques recherchées fragmente l'habitat disponible pour les populations de cette espèce peu dynamique, au risque de les rendre non viables.

### Une biodiversité dynamique dans le temps

Le processus de recyclage du bois mort passe par trois phases (Speight, 1989) :

- une phase de colonisation au cours de laquelle le bois est envahi par des organismes saproxyliques primaires qui s'attaquent au bois encore dur, souvent associés à des champignons. Cette phase est généralement courte ;
- une longue phase de décomposition au cours de laquelle les organismes saproxyliques pri-

maires sont rejoints ou remplacés par des organismes saproxyliques secondaires qui utilisent le travail des premiers pour se nourrir ou qui sont prédateurs des premiers ;

- une longue phase d'humification par laquelle les organismes saproxyliques sont progressivement remplacés par des organismes qui incorporent au sol les restes de bois lorsqu'il a été suffisamment transformé par la phase précédente.

### Une biodiversité menacée

De nombreuses espèces saproxyliques sont éteintes, parfois depuis longtemps. Parmi les espèces encore présentes, nombreuses sont celles en situation délicate d'un point de vue de leur conservation. Des espèces comme le Pic à dos blanc ou le Pic tridactyle ne sont connus en France que sur quelques stations. Pour l'Europe, Speight (1989) estime que 40% des espèces de coléoptères saproxyliques sont en danger sur une grande partie de leur aire. La majorité des autres sont en déclin.

De plus, beaucoup de populations des espèces présentes sont réduites et fragmentées. L'absence d'insectes saproxyliques de certaines forêts récemment mises en réserve et comprenant une forte densité de vieux bois et bois mort pourrait indiquer que les forêts dotées d'une riche faune saproxylique sont devenues si rares, si éparées, si éloignées, que toute colonisation naturelle est devenue localement difficile ou impossible.



*Osmoderma eremita*

## ▶ Décomposition du bois : rôle initial des pourritures blanches et rouges

Les pourritures blanches ou fibreuses représentent 90 % des espèces fongiques liées au bois mort (Basidiomycètes surtout). Elles savent dégrader la cellulose et en tirer l'énergie nécessaire à l'attaque de la lignine. Il en résulte des squelettes ligneux sous forme de fibres décolorées. Ceux-ci sont alors facilement pris en charge par d'autres groupes (insectes...). Les conditions de bonne humidité sont requises pour le développement des pourritures blanches.

Les pourritures rouges ou cubiques recouvrent des champignons (5 % des décomposeurs de bois, des polypores et quelques Ascomycètes - moindre diversité). Elles n'attaquent pas la lignine. Il en

résulte une structure cubique, compacte, peu modifiée. On assiste alors à un blocage de la décomposition, notamment si les conditions d'humidité sont insuffisantes (haute montagne par exemple ou faciès secs). Ces cubes sont retrouvés dans le sol où ils peuvent persister longtemps comme autant de petites éponges.

Schématiquement, les pourritures blanches sont donc plus à l'origine de chaînes trophiques que les pourritures rouges qui sont à l'origine de microsites originaux, refuges d'insectes et de stockage d'eau. Les spectres des insectes liés aux pourritures blanches et pourritures rouges sont d'ailleurs différents.



*Pourritures rouges ou cubiques d'un gros chêne.*



# Structure et dynamique du bois mort dans les forêts naturelles

## **QUELQUES REMARQUES PRÉALABLES**

La répartition entre volis, chablis, mortalité sur pied, au sol, classe de diamètres est variable et permet de comprendre le mode de fonctionnement de la forêt considérée (nature et régime des perturbations, histoire de la forêt). Elle est donc toujours essentielle à analyser avec précision.

Pour la biodiversité, il est bien plus judicieux scientifiquement de s'attacher à la diversité, la densité et la dynamique des micro-habitats induits par la présence de bois mort qu'à une seule quantification volumique. Toutefois, compte tenu de la tradition forestière, très attachée à "cuber", et de la plus grande facilité à estimer cette dernière donnée en forêt, il est intéressant d'utiliser cet indicateur, bien qu'indirect et imparfait, pour montrer l'écart actuel entre une forêt naturelle, une forêt semi-naturelle gérée ou une forêt artificielle.

Le volume de bois mort dans une forêt naturelle dépend étroitement :

- de la productivité de l'écosystème. Ainsi, les forêts humides de plaine sur sol riche par exemple présentent-elles un volume de bois mort supérieur aux forêts sèches ou de haute montagne ;
- du régime des perturbations naturelles, de leur intensité, fréquence et ancienneté au moment

de l'évaluation du bois mort, ainsi que de la vitesse de dégradation des bois de l'écosystème donné ;

- de l'ancienneté de l'exploitation. Il est malheureusement difficile de trouver, en Europe de l'ouest au moins, une réserve (même intégrale !) dans laquelle on ne trouve aucun indice d'exploitation humaine.

## **LES VOLUMES DE BOIS MORT**

Le tableau 1 synthétise les données de la littérature sur les volumes de bois mort dans des forêts de la zone tempérée sensu lato. Notons que les volumes de bois mort mesurés dans des écosystèmes forestiers tempérés humides ("temperate rainforest" de la côte ouest américaines à *Pseudotsuga* ou de la Nouvelle-Zélande à *Nothofagus*) sont très supérieurs à ceux présentés dans le tableau 1, dépassant très souvent 500 m<sup>3</sup>/ha, pour des productivités forestières supérieures également. Ils ne sont pas comparables à nos écosystèmes.

Peu de données publiées existent en France. La seule étude récente (Garrigue et Magdalou, 2000) dans la Réserve Naturelle de la forêt de la Massane estime à 24 m<sup>3</sup>/ha seulement le bois mort dans la zone en réserve intégrale, qui ainsi apparaît encore "jeune" en comparaison des données qui sui-

Tableau 1. Volumes de bois mort en forêt naturelle

Pays	Localisation	Site	Type de forêt	Durée de non-exploitation	Total bois mort (chablis, volis, voir autres) m <sup>3</sup> /ha	Remarques méthodologiques	Références
France	Fontainebleau	La Tilliaie	Hêtre-chêne	> 80 ans	92 à 145 (dont 28 à 44 de volis)		Koop et Hilgen (1987)
France	La Massane	Réserve intégrale uniquement (9,4 ha)	Chêne-Hêtre	> 80 ans	24,2	D>10 cm. Volume sous-estimé.	Garrigue et Magdalou (2000 et communication personnelle)
U.K.	Lower Wye Valley	Lady Park Wood	Hêtre (6 mesures)	> 80 ans	Min. 47,4 Max. 128,5 Moy. 104,4	Calcul incluant branches et souches. Diamètre >5 cm	Green et Peterken (1997)
U.K.	Analyse nationale	-	Chêne-Hêtre	> 80 ans	60-140	Comparaison entre 87 sites gérés et non gérés	Kirby et al. (1998)
Allemagne	Bavière	Waldhaus naturwaldreservaten	Hêtre	-	104,7	-	Rauh und Schmitt, 1991
Allemagne	Bavière	Wettersteinwald naturwaldreservaten	Pessière subalpine	-	84	-	Rauh und Schmitt, 1991
Pologne	Bialowieza	Réserve intégrale	Tilliaie – Charmate	> 80 ans	60	Volume sur écorce, sans branches	Falinski (1978)
Pologne	Bialowieza	Réserve intégrale	Tilliaie – Charmate	> 80 ans	Min. 60 Max. 71	Volume sur écorce, sans branches	Falinski (1978)
Pologne	Bialowieza	Réserve intégrale	Tilliaie – Charmate	> 80 ans	Min. 75 Max. 94	-	Kirby et al. (1991)
Finlande	Région sud	10 forêts naturelles sans traces d'exploitation	Epicéa dominant et Pin sylvestre	-	Moyenne 111,4 Minimum 70 Maximum 184	Diamètre > 5 cm	Sitonen et al. (2000)
U.S.A.	Illinois, Missouri, Iowa	Analyse régionale de 12 forêts naturelles (30 mesures par forêts)	Forêts tempérées décidues (chênes, érables, hêtre principalement)	-	Moyenne 81,8	Diamètre > 10 cm	Spetich et al. (1999)
U.S.A.	Tennessee	-	Hêtre – Boulaie	-	82	Diamètre > 7,5 cm	Harmon et al. (1986)
U.S.A.	Tennessee	-	Chêne mixte	-	94	Diamètre > 7,5 cm	Harmon et al. (1986)
U.S.A.	Tennessee	-	Chêne – pinède	-	132	Diamètre > 7,5 cm	Harmon et al. (1986)
U.S.A.	Indiana	-	Chêne mixte	> 30 ans	46	Diamètre > 5 cm	Macmillan (1981)
U.S.A.	Kentucky	Lilley Cornett Woods	Hêtre	> 70 ans	55	Diamètre > 20 cm	Muller et Liu (1991)
U.S.A.	Kentucky	Appalachian Research station	Erable	> 70 ans	64	Diamètre > 20 cm	Muller et Liu (1991)
U.S.A.	Kentucky	Lilley Cornett Woods	Erable	> 70 ans	79	Diamètre > 20 cm	Muller et Liu (1991)
U.S.A.	Kentucky	Appalachian Research station	Chêne-Erable	> 70 ans	79	Diamètre > 20 cm	Muller et Liu (1991)
U.S.A.	New Hampshire	-	Hêtre – Erable	-	78	Diamètre > 10 cm	Gore (1986) in Kirby et al. (1991)
U.S.A.	North Carolina	-	Chêne mixte	-	102	Diamètre > 10 cm	Petranka J.W. (unpublished data)
U.S.A.	Sumter National Park (wilderness area)	Indian Camp	<i>Pinus strobus</i> , <i>Quercus alba</i>	> 200 ans	65	Moyenne de 5 sites	Hardt et Swank (1997)
U.S.A.	Pisgah National Park	Walker Cove (research natural area)	<i>Acer saccharum</i> , <i>Tilia spp.</i> , <i>Aesculus spp.</i>	> 200 ans	86	Chablis D>20 cm ; volis D>25 cm	Hardt et Swank (1997)
U.S.A.	Nantahala National Forest	Bassin versant WS2 – Coweeta Hydrologic Laboratory	<i>Liriodendron tulipifera</i>	> 65 ans,	43	Chablis D>20 cm ; volis D>25 cm	Hardt et Swank (1997)
U.S.A.	Nantahala National Forest	Bassin versant WS36 – Coweeta Hydrologic Laboratory	<i>Quercus spp.</i> , <i>Carya spp.</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i>	>65 ans	82	Chablis D>20 cm ; volis D>25 cm	Hardt et Swank (1997)
U.S.A.	Michigan and Wisconsin	Analyse régionale de 25 forêts naturelles (20% des sites sans aucun indices de coupes seulement)	Forêts mélangées de Pruche (environ 50%) et feuillus à bois dur	-	55 à 207	Chablis > 20 cm, volis >10 cm	Tyrrell et Crow (1994 a et b)
U.S.A.	Connecticut	-	Hêtre – Erable	>250 ans	137	Densité de 0,28	Tritton (1980) in Kirby et al. (1991)
U.S.A.	New Jersey	Hutcheson Memorial forest	Chêne mixte	-	76	Densité de 0,28	Lang et Forman (1978) in Kirby et al. (1991)
U.S.A.	Michigan	Wilvonia Wilderness Area (Ottawa National Forest)	6 érables	-	126,9	D > 10 cm, longueur > 1,5 m	Goodburn et Lorimer (1998)
U.S.A.	Michigan	Wilvonia Wilderness Area (Ottawa National Forest)	4 forêts mixtes à Pruche, Erable et Bouleau	-	151,4	D > 10 cm, longueur > 1,5 m	Goodburn et Lorimer (1998)

vent. Koop et Hilgen (1987) estiment que le volume de bois mort dans les réserves intégrales de Fontainebleau est en moyenne égal à 103 m<sup>3</sup>/ha (variant de 92 à 145 m<sup>3</sup>/ha, avec 28 à 44 m<sup>3</sup>/ha de volis). Dans des forêts naturelles comparables aux conditions écologiques de la France, le volume de bois mort dépasse toujours 40 m<sup>3</sup>/ha au minimum et peut dépasser 200 m<sup>3</sup>/ha. La réserve intégrale du Parc National de Bialowieza, avec un volume de bois mort variant de 60 à 100 m<sup>3</sup>/ha selon les types de forêts (tableau 1), est en équilibre d'un point de vue du cycle du carbone.

D'après les données disponibles, le bois mort représentent entre 5 et 30% du volume de bois sur pied (voir compilation des études dans Muller et Liu, 1991, mais aussi Spetich et al. 1999, Siitonen, 2001).

### **LA DENSITÉ DES ARBRES MORTS**

La densité d'arbres morts dans une forêt varie en fonction des diamètres retenus. Le tableau 2 résume les données disponibles pour les stades matures des forêts naturelles. Ainsi, on compte dans des forêts essentiellement composées de feuillus :

- de 40 à près de 140 arbres morts par ha ;
- d'une dizaine à près de 40 volis par ha (pour des diamètres >20 cm et hors mortalité accidentelle exceptionnelle) ;
- de 10 à 20 arbres présentant au moins une cavité. Avec un nombre de 60 par ha, la chênaie-hêtraie de la réserve intégrale de La Massane, finement étudiée par Guarrigue et Magdalou (2000), dépasse largement cette fourchette moyenne. Cette particularité est sans contexte un élément constitutif de la grande biodiversité de la Réserve naturelle.

### **RÉPARTITION SPATIALE DU BOIS MORT**

La surface au sol occupée par le bois mort dans une forêt naturelle est toujours inférieure à 25% de la surface forestière (compilation pour les U.S.A. dans Harmon et al. 1986).

Le bois mort est distribué de façon éminemment variable :

- il suit la distribution spatiale des causes naturelles de la mortalité. Ainsi, l'orientation des perturbations régulières "tempête" et la topographie dessinent dans une forêt naturelle une géographie du bois mort différente de la perturbation "sécheresse" par exemple ;
- la distribution spatiale suit la structure irrégulière et par bouquet des forêts naturelles tempérées ;
- la distribution spatiale suit l'âge des arbres ou les stades successionnels du fonctionnement cyclique d'une forêt naturelle (jeune, adulte, mature, sur-mature).

### **DYNAMIQUE DU BOIS MORT DANS LES FORÊTS NATURELLES TEMPÉRÉES**

Il s'agit là d'une question importante d'un point de vue du scientifique comme du praticien. Le stock de bois mort est dynamique sur le long terme. Le bois mort se transforme, des cavités disparaissent ou ne sont plus occupées, d'autres micro-habitats apparaissent... La gestion dans le temps de ce stock de bois et des micro-habitats est donc primordiale. Pour cela, une meilleure connaissance des facteurs de la dynamique de production et de décomposition du bois mort (vitesse de recyclage) est nécessaire.

### **Le taux de mortalité naturelle**

Le taux de mortalité naturelle des arbres permet d'évaluer en quelque sorte la " production " annuelle de bois mort. Dans un écosystème en équilibre, ce taux, calculé sur une échelle spatiale et temporelle adéquate, est égale à la production annuelle de bois vivant. Toutefois, les variations annuelles, au fil des perturbations, sont grandes. Dans une forêt en équilibre, la production annuelle de bois mort est déterminée en partie par la fertilité et la production de bois vivant. Dans la réserve intégrale du Parc National de Bialowieza, Falinski (1978) estime cette mortalité à 2 à 4,5 chablis/ha/an, et l'a mesuré (sur 10 ans) égale à 4 m<sup>3</sup>/ha/an. Dans les réserves

Tableau 2. Densité de bois mort en forêt naturelle

Pays	Localisation	Site	Type de forêt	Durée de non-exploitation	Chablis N/ha	Volis et arbres entiers mort sur pied N/ha	Arbres avec au moins une cavité N/ha	Remarques méthodologique	Références
France	La Massane	Réserve intégrale uniquement (9,4 ha)	Hêtraie-chênaie pubescente	> 80 ans	97,1	110	60,7	Tronc et branches de plus de 10 cm de diamètre	Garrigue et Magdalou (2000)
Suisse	Grisons	Parc national	Pinède à crochets (mortalité forte par l'Armillaire et le Fomes)	> 80 ans	43 à 94	206 à 233	-	> 12 cm	Dobbertin et al. (2001)
Pologne	Bialowieza	-	Tillaie-charmaie	> 80 ans	113	-	-	-	Falinski (1978)
Pologne	Bialowieza	-	<i>Pino-Quercetum</i>	> 80 ans	137	-	-	-	Falinski (1978)
U.S.A. (South Carolina)	Sumter National Park	Indian Camp (wilderness area)	<i>Pinus strobus</i> , <i>Quercus alba</i>	> 200	124	20	12,5	Diamètre > 30 pour les arbres à cavités, > 25 pour les volis, > 20 pour les chablis	Hardt et Swank (1997)
U.S.A. (North Carolina)	Pisgah National Park	Walker Cove (research natural area)	<i>Acer saccharum</i> , <i>Tilia spp.</i> , <i>Aesculus spp.</i>	> 200	151	19	21,1	idem	Hardt et Swank (1997)
U.S.A. (North Carolina)	Nantahala National Forest	Bassin versant WS2 - Coweeta Hydrologic Laboratory	<i>Quercus spp.</i> , <i>Carya spp.</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i>	> 65	70	18	9,4	idem	Hardt et Swank (1997)
U.S.A. (North Carolina)	Nantahala National Forest	Bassin versant WS36 - Coweeta Hydrologic Laboratory	<i>Quercus spp.</i> , <i>Carya spp.</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i>	> 65	112	15	10,9	idem	Hardt et Swank (1997)
U.S.A.	Northern Arizona	Cocconino et Kaibab National forests	<i>Pinus ponderosa</i>	-	-	30	-	Diamètre > 20 cm seulement	Ganey (1999)
U.S.A.	Northern Arizona	Cocconino et Kaibab National forests	Conifères mixtes	-	-	36	-	Diamètre > 20 cm seulement	Ganey (1999)
U.S.A.	Illinois, Missouri, Iowa	12 old-growth forests (30 mesures par forêts)	Forêts tempérées décidues (chênes, érables, hêtre principalement)	-	-	33	-	Diamètre > 10 cm	Spetch et al. (1999)
U.S.A.	Kentucky	Lilley Cornett Woods Appalachian Research station	Hêtraies, érablières, chênaies	> 70 ans	51	12	-	Diamètre > 20 Troncs entiers	Muller et Liu (1991)
U.S.A.	Michigan	Wilvonia Wilderness Area (Ottawa National Forest)	6 érablières	-	-	39 (dont 16,7 de D>45 cm)	18,1	D > 10 cm, longueur > 1,5 m	Goodburn et Lorimer (1998)
U.S.A.	Michigan	Wilvonia Wilderness Area (Ottawa National Forest)	4 forêts mixte à Pruche, Erable et Bouleau	-	-	73 (dont 25,8 de D>45 cm)	13,8	D > 10 cm, longueur > 1,5 m	Goodburn et Lorimer (1998)
U.S.A.	Alberta	-	Tremblaie boréale	> 40 ans	-	61,6 à 99,8	-	Peuplement jusqu'à 100 ans d'âge	Lee (1998)

intégrales de Fontainebleau, sur une période de 10 ans sans tempête importante, la production totale de bois mort (chablis et volis) a été estimée à moins de 0,26 tiges/ha/an (Pontailler et al., 1997), soit un chiffre beaucoup plus faible.

Dans 25 stades matures de forêts naturelles mixtes du Michignan et du Wisconsin (Tyrrell et Crow, 1994b), le taux de mortalité varie de 2 à 8,4 (moyenne 4,8) tiges/ha/an (diamètre : chablis > 20 cm et volis > 10 cm), soit en moyenne 1% du nombre de tiges vivantes par an. Franklin et al. (1987) et Tyrrell et Crow (1994b), en comparant la littérature américaine, confirment ce dernier ordre de grandeur.

### **Taux de mise au sol des volis et arbres entiers morts sur pied**

Dans une tremblaie boréale, Lee (1998) a estimé à 9 à 21 % des volis le taux annuel moyen de mise au sol, la plupart des mises au sol s'effectuant entre 10 et 20 ans après la mort. Tyrrell et Crow (1994b), dans des forêts mixtes Pruche/feuillus fonctionnant principalement par mortalité naturelle sur pied, montrent la fragmentation de 2,1 volis/ha/an et la mise au sol de 1,3 volis/ha/an.

### **Taux de décomposition du bois au sol**

Le taux de décomposition du bois au sol dépend essentiellement de :

- la nature du bois, variant beaucoup en fonction des essences, et entre les conifères, les feuillus à bois dur et les feuillus à bois tendre ;
- Les méso et micro climats (température et humidité) qui déterminent l'activité des décomposeurs, notamment l'activité micro-

bienne initiale. Ainsi, un arbre peu en contact avec l'humidité du sol (exemple d'un volis sur des éboulis secs) se dégradent plus lentement qu'un arbre au sol dans une station humide.

Le bois mort est généralement analysé en retenant une classification des stades de décomposition du bois mort en 4 ou 5 classes définies suivant des critères visuels de structure (% d'écorce présente, présence des branches de petits diamètres, % des bois au sol, niveau de fragmentation par les pourritures, degré de colonisation, degré d'incorporation au sol de la matière organique...). Dans le détail, les facteurs influençant la décomposition ou l'accumulation du bois mort étant nombreux et complexes, nous n'aborderons pas ce sujet ici, d'autant que la majorité des recherches restent à faire en France.

Dans une tillaie-charmaie de la réserve intégrale du Parc National de Bialowieza (Pologne), Falinski (1978) estime à 2,9 m<sup>3</sup>/ha/an le taux de décomposition annuel (calcul sur 10 ans).

Aux U.S.A., la dégradation du bois de nombreuses espèces a été étudiée de façon détaillée (voir synthèse et modélisation de Xiwei Xin, 1999 pour l'Amérique du nord). Ainsi, par exemple, il a été estimé deux variables :

- le taux de décomposition annuel de l'espèce, variant de moins de 1% à environ 10% pour la grande majorité de espèces ;
- la demi-vie du bois mort, c'est à dire la durée nécessaire à la décomposition de la moitié du volume. Celle ci varie par exemple de moins de 10 ans pour certains érables, bouleaux et trembles à près de 100 ans pour le Douglas (Tyrrell et Crow, 1994b).



# Vers une gestion écologique du bois mort en forêt

## LE BOIS MORT DANS LES FORÊTS GÉRÉES

Le volume de bois mort dans les forêts de production est très faible en Europe de l'ouest (tableau 3). En France, il ne dépasse que très rarement 5 m<sup>3</sup>/ha. 75% des forêts françaises ne possède aucun bois mort, 90% en possède moins de 5 m<sup>3</sup>/ha (figure 4).

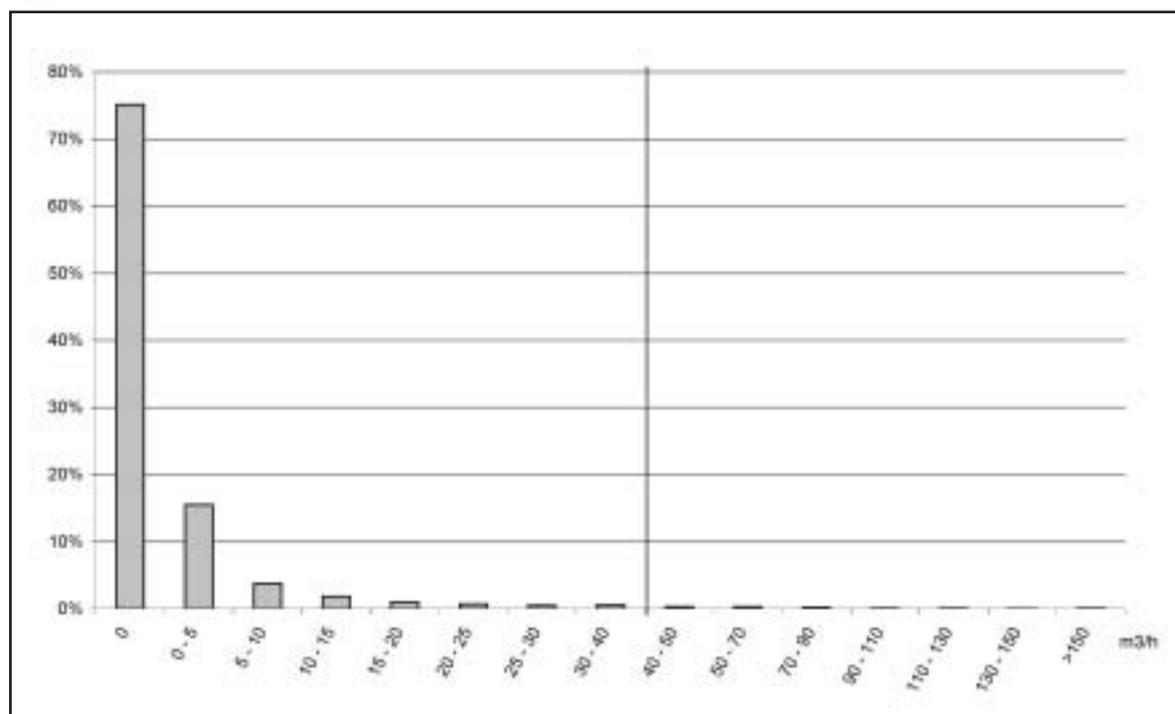
La distribution spatiale (dans le peuplement, dans le bassin versant, dans les régions) est très fragmentaire et discontinue. Or, la continuité de l'habitat "bois mort" est indispensable à la via-

bilité des populations de nombreuses espèces peu mobiles, à cause de leur structuration en métapopulations.

Les forêts avec un fort volume de bois mort sont principalement situées dans des zones peu productives et/ou peu accessibles par les engins mécanisés d'exploitation, notamment en montagnes (figure 4 et 5). Les gros chablis ou volis (>40 cm de diamètre) conservés en forêt sont très peu nombreux. Les bois morts sont principalement des petits bois datant de chablis récents. Les bois morts anciens sont peu fréquents.

**Tableau 3.**  
Volume moyen national du bois mort en forêts dans quelques pays européens

	Volume de bois mort (m <sup>3</sup> /ha)	Nature de la donnée	Note	Sources
France	2,23 6,75	Moyenne nationale Maximum départemental (Savoie)	Analyse nationale Forêts dites de production (93% des forêts françaises) D>7 cm	Vallauri et Poncet, 2002
Allemagne	1 à 3	Moyenne régionale (Bavière)	Forêts de production seulement	Ammer, 1991
Belgique	3,3	Moyenne régionale (Wallonie)	Forêts feuillues seulement	Lecomte, 2000
Suisse	12 4,9 11,6 12,2 19,5	Moyenne fédérale 1999 Moyenne région "Plateau" 1999 Moyenne région "sud des Alpes" 1999 Moyenne région "Préalpes" 1999 Moyenne région "Alpes" 1999	Analyse nationale D>12 cm	Brassel et Brändli (ed.), 1999
Finlande	2-10	Moyenne forêts de production	-	Siitonen, 2001
Suède	6,1 12,8	Moyenne nationale Maximum régional (nord)	Analyse nationale D >10 cm	Fridman et Walheim, 2000



**Figure 4**

Répartition des surfaces forestières par classe de volume de bois mort (d'après Vallauri et Poncet, 2002).



**Figure 5**

Distribution départementale du volume moyen de bois mort par ha (d'après Vallauri et Poncet, 2002).  
Volume moyen départemental en m³/ha et nombre de département dans la classe entre parenthèses.

## PROPOSITIONS D'ORIENTATIONS TECHNIQUES

### Des normes sylvicoles pour conserver le bois mort ?

Certains gestionnaires forestiers ont édicté depuis quelques années des conseils sylvicoles de façon à guider la gestion du bois mort. L'Office National des Forêts, dans son Instruction sur la prise en compte de la biodiversité (ONF, 1993) note par exemple que "le maintien de quelques arbres sénescents ou morts (au moins un par ha) est très favorable à la biodiversité", sans préciser ni de diamètre minimum, ni de volume, ni d'essence, ni de forme (chablis, volis, arbre entier mort sur pied), ni de modalités (groupe d'arbres chablis, arbres isolés, dispersés,...). Quant aux arbres creux, "on peut recommander d'en conserver, de l'ordre de 1 à 10 pour 5 ha, bien répartis" (ONF, 1993). Le guide technique ONF (1998) précise les éléments de choix des arbres morts ou à cavités (diamètre >35 cm, cavité de diamètre > 3 cm). Après les tempêtes, le WWF-France a préconisé de profiter de l'opportunité offerte pour conserver à coût nul au minimum 2 chablis et 2 volis à l'ha d'essence indigène.

Sur le continent nord américain, le ministère des forêts de Colombie britannique ou l'USDA Forest service ont émis également de nombreuses normes en fonction des régions et des types de forêts. Par exemple, dans le sud-ouest des Etats-Unis (Arizona et Nouveau Mexique), il est recommandé par les services forestiers depuis 1996 de conserver dans les pinèdes à *Pinus ponderosa* et les forêts mixtes de conifères respectivement 4,9 et 7,4 volis et arbres entiers morts sur pied par hectare ayant un diamètre minimum supérieur à 46 cm et une hauteur d'au moins 9 mètres (Ganey, 1999). Ces recommandations ont été définies en fonction des besoins principaux des espèces de rapaces menacées de la région. Il semble toutefois que cette norme soit encore assez peu appliquée et doive être affinée pour mieux refléter le taux de mortalité pour produire un tel habitat (Ganey, 1999).

Que préconiser en France à la lumière des données présentées ci-dessus ? "Combien faut-il planter d'arbres morts à l'ha ?" demandait, il y a quelques années, un forestier soucieux de tourner en dérision la préoccupation environnementale (le forestier 2002 ne sait-il véritablement que planter ?). "Où et comment ?" pourrions-nous ajouter.

Nous faisons ci-après une première proposition :

- **une règle de base** : mieux gérer ce qui meurt naturellement, c'est à dire laisser la chance à une partie des arbres de mourir de leur mort naturelle (vieillesse, chablis, volis non enlevé). Il nous semble inutile, sauf pour étude ou avec une argumentation scientifique sérieuse, d'artificialiser davantage la forêt en coupant des arbres ou en créant des volis à la tronçonneuse, comme il est possible de le voir dans certaines régions du monde sous le prétexte de "hâter" l'œuvre de la nature. Cela est d'autant plus dangereux que les connaissances sur la structure et la dynamique du bois mort des écosystèmes sont faibles en France ;
- **un souhait** : que la recherche scientifique française s'attelle à l'approfondissement des connaissances pour mieux approcher la complexité et la variabilité entre les différents écosystèmes forestiers français, de façon à adapter la proposition générale qui suit à la productivité et au fonctionnement écologique de chacun ;
- **une proposition générale** : sans attendre, faire le choix de restaurer, par la rétention progressive au fur et à mesure de la mortalité des essences indigènes, un compartiment de bois mort égal à 15 m<sup>3</sup>/ha, soit environ 1/3 du volume minimum généralement présent dans une forêt naturelle. Cette rétention peut débuter par une première tranche immédiate de 5 à 10 m<sup>3</sup>/ha. Cette dernière préconisation est identique à celle faite par Ammer (1991) au regard des besoins des coléoptères saproxylophages en Bavière. En France, elle peut se mettre rapidement en œuvre en tirant notamment profit des nombreux chablis récents. Cette première phase cherchera à combler si possible la forte lacune en gros arbres, en conservant au minimum 2 chablis et 2 volis de diamètre supérieur à 40 cm par ha pour leur fort potentiel cavicole

Tableau 4. Le bois mort : repères écologiques, typologie des forêts actuelles et conseils pour une gestion durable

Type de cas	Volume total de bois mort au sol	Proportion de bois mort ancien (> 15 ans)	Proportion de bois mort très jeune (< 5 ans)	Nombre de chablis ou volis de diamètre > à 40 cm	Niveau de dégradation des bois morts	Conseils pour la gestion durable et la restauration de la biodiversité	Surface de forêts françaises concernées
<b>Forêts non perturbées par un accident récent</b>							<b>(avant les tempêtes de 1999)</b>
Forêts gérées sans bois mort	Nul	Nulle	Nulle	Nul		Garder tous les bois morts qui seront produits au fil des ans à hauteur de 5 à 10 m <sup>3</sup> /ha dans un premier temps et 15 m <sup>3</sup> /ha à terme.	75,2 %
Forêts gérées fortement appauvries en bois mort	Faible < ou égal à 5 m <sup>3</sup>	Nulle à faible	Forte	0/ha	Frais à très peu dégradé (âge < 5 ans)	Idem	15,5 %
Forêts gérées appauvries en bois mort	Moyen 5-20 m <sup>3</sup>	Faible < 5 m <sup>3</sup>	Moyenne à forte	0/ha	Frais à très peu dégradé (âge < 5 ans)	Idem	6,6 %
Forêts mieux gérées ou sans exploitation depuis moins de 50 ans	Elevé 20-40 m <sup>3</sup>	Moyenne à forte > 50%	Moyenne à faible < 50%	0 à 1/ha	Réparti sur toute la gamme d'âge potentielle (< 50 ans), en fonction des perturbations majeures anciennes	Garder les volis et chablis de plus de 40 cm de diamètres. Exploiter le peuplement en gérant le capital et la dynamique du bois mort. Evaluer la pertinence de protéger certains sites, en priorité ceux présentant un volume de bois mort ancien > 20 m <sup>3</sup> .	1,7 %
Forêts avec présence naturelle de bois mort : forêts à caractère naturel ou non exploitées depuis plusieurs décennies	Très élevé > 40 m <sup>3</sup>	Moyenne à forte > 25 m <sup>3</sup>	Moyenne à faible < 50%	> 10/ha	Réparti sur toute la gamme d'âge potentielle. Permet la reconstruction historique de la dynamique forestière sur le long terme.	Analyser la pertinence de la protection du site (RBD, RBI, RN ou RNV) et ne rien exploiter à l'avenir (choix de non gestion sylvicole)	1 %
<b>Forêts perturbées par un accident récent</b>							
Forêts gérées appauvries en bois mort perturbées par un accident récent	Elevé à très élevé	Nul à faible < 5 m <sup>3</sup>	Forte	> 75 %	Frais à très peu dégradé (âge < 5 ans)	Garder au moins 15 m <sup>3</sup> de bois d'essence indigène régulièrement distribué sur la parcelle, dont au minimum 2 chablis et 2 volis par ha de diamètre > 40 cm. Exploiter le reste. Si volonté de protection, analyser la pertinence de la protection des sites sur lesquels la perturbation a irrégularisé le boisement indigène à l'échelle de la parcelle.	> 3% depuis les tempêtes de 1999.

et saproxylique. La conservation d'un nombre égal de chablis et de volis est artificielle mais a pour objectif principal de diversifier rapidement les micro-habitats et d'initier de nouvelles chaînes trophiques.

- **des itinéraires sylvicoles** : en fonction d'une typologie succincte des situations du compartiment bois mort dans les forêts françaises, des conseils plus détaillés sont présentés dans le tableau 4. Ils intègrent à la fois des itinéraires pour les forêts de production, pour les forêts méritant une mise en réserve et après les chablis récents.



### La non-exploitation des forêts protégées

Les forêts les mieux protégées dans les zones centrales de parc national, les réserves naturelles et les réserves biologiques dirigées ou intégrales sont un outil clé pour le maintien de la biodiversité, celle dépendant du bois mort en



particulier. Ces espaces forestiers protégés (catégories I à IV de l'UICN) représentent actuellement en métropole une surface égale à 172 000 ha, soit 1,09% des forêts françaises (Vallauri et Poncet, 2002).

Aussi, il nous semble qu'un effort est à entreprendre par les gestionnaires en charge de ces espaces naturels pour mieux prendre en compte la problématique du bois mort (et de la naturalité en général), et notamment mettre en application un principe de non-exploitation du bois de façon à améliorer conjointement la biodiversité et la naturalité des écosystèmes forestiers.

L'augmentation à court terme du volume de bois mort à plus de 20 m<sup>3</sup>/ha dans ces espaces forestiers protégés, dont l'objectif premier est la conservation de la biodiversité, permettrait sans doute à elle seule d'améliorer significativement la biodiversité liée aux bois morts.





# Ecologiquement correct contre socio-économiquement durable ?

## **TOUTE POLITIQUE A UN COÛT.**

La proposition consistant à conserver en forêts 15 m<sup>3</sup>/ha de bois mort à long terme, en commençant par restaurer un volume de 5 à 10 m<sup>3</sup>/ha dans l'immédiat, dont 2 chablis et 2 volis de plus de 40 cm de diamètre par ha, ne présente pas de coût additionnel, mais un manque à gagner que l'on peut chiffrer. Ce coût est destiné à la restauration de la biodiversité appauvrie par la gestion passée.

Notons en préalable que maintenir un taux de bois mort de 15 m<sup>3</sup>/ha dans toutes les forêts de production correspondrait approximativement à un volume national de bois mort de 225 millions de m<sup>3</sup> contre 30 millions de m<sup>3</sup> actuellement (Vallauri et Poncet, 2002). Une partie des 140 millions de m<sup>3</sup> de chablis des tempêtes de 1999, celle qui reste aujourd'hui encore au sol, pourrait judicieusement être mise à profit si l'on incitait à nettoyer les parcelles différemment. En effet, les cahiers des charges régionaux pour l'obtention des financements publics "tempêtes" mis à disposition des propriétaires forestiers ne prennent jamais en compte ces aspects environnementaux. Une opportunité irremplaçable est en train d'être gâchée alors que le contribuable investit de 900 à 1800 euros/ha pour aider les propriétaires à "nettoyer" les parcelles endommagées par la tempête.

Si l'on considère la perte de production (bois), la proposition de conserver 15 m<sup>3</sup>/ha de bois mort en forêt correspond :

- à un manque à gagner, lié à la restauration du compartiment bois mort, égal à 45 euros/ha/an sur les 20 prochaines années (à 60 euros le m<sup>3</sup> de bois sur pied). Il est évident que ce coût peut être grandement réduit par le fait que les chablis ont une occurrence inévitable et présentent un surcoût d'exploitation significatif. Ne pas les exploiter systématiquement, n'améliore pas les recettes mais peut diminuer les dépenses dans les comptes d'exploitation de la forêt ;
- une fois ce compartiment bois mort de 15 m<sup>3</sup>/ha restauré, le manque à gagner induit par le renouvellement de ce capital de bois mort se décomposant est égal à moins de 0,5 m<sup>3</sup>/ha/an pour la majorité des essences, soit environ 30 euros/ha/an (à 60 euros le m<sup>3</sup> de bois sur pied) ;

Notons que cet investissement n'est pas uniquement bénéfique à la conservation de la biodiversité, mais également à l'amélioration de la fertilité forestière, au stockage du carbone, à la régénération, à la faune chassable, à l'équilibre des populations de ravageurs...

## Les scolytes attaquent !

Le bois mort est-il le lieu de prolifération des ravageurs forestiers sur les arbres vivants ? Laissons la parole à Louis-Michel Nageleisen, spécialiste du Département de la Santé des forêts du Ministère de l'Agriculture et de la Forêt :

“ Les insectes ravageurs forestiers sont biologiquement inféodés aux seuls arbres vivants. Au nombre de quelques dizaines d'espèces, ils peuvent être classés en ravageurs primaires et ravageurs secondaires selon leur capacité à coloniser respectivement un arbre vigoureux ou un arbre affaibli, c'est-à-dire selon leur capacité à surpasser les réactions de l'arbre vivant. (...) Ces insectes se nourrissent de tissus vivants et laissent la place à d'autres cortèges, les insectes saproxylophages, lorsque leur hôte meurt. (...) Les insectes saproxylophages qui se succèdent depuis l'arbre récemment mort à l'arbre réduit à l'état de matière organique décomposée appartiennent à de très nombreuses familles et comptent des milliers



d'espèces, toutes incapables d'investir des tissus vivants. (...) De fait, les arbres morts anciens ne présentent aucun danger pour la forêt. Au contraire, plusieurs études semblent montrer qu'ils abritent un cortège important de parasitoïdes et prédateurs qui exercent un certain contrôle des populations d'insectes ravageurs. Seuls les arbres en train de mourir ou récemment mort, qui peuvent pendant un court laps de temps héberger encore des ravageurs secondaires, présentent éventuellement un danger à évaluer selon l'essence, les insectes et leur niveau de population ” (Nageleisen, 2002).

### ET LE PRIX DE LA FIXATION DU CARBONE PAR LE BOIS MORT ?

En préalable, notons que, dans le cadre de la lutte contre l'effet de serre, la stratégie “curative” consistant à se satisfaire, en compensation des émissions nouvelles de CO<sub>2</sub>, de la création de “puits de carbone” en forêt ne nous semble pas la réponse la plus pertinente : seul une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est susceptible de résoudre durablement la question de l'effet de serre. Ceci d'autant plus que, fausses solutions également, les préconisations pour les puits de carbone s'appuient le plus souvent sur le reboisement artificiel (proposition de 30 000 ha/an pour le plan d'action français), le plus souvent en essences à croissance rapide et exo-

tiques. Au-delà des problèmes intrinsèques induits par ce choix sylvicole (et les méthodes mécaniques et chimiques associées), le stockage du carbone n'est pas réalisé de façon durable dans ces plantations à courte rotation puisque leurs arbres comme les éco-produits engendrés sont d'une durée de vie souvent faible (bois de feux, papiers, panneaux,...), libérant rapidement de nouveau du carbone. Au-delà de la transformation de l'espace rural en poubelle à carbone par des reboisements artificiels, n'y a-t-il pas d'autres alternatives ?

Revenons donc aux sources du carbone dans l'écosystème forestier naturel ? Rappelons que le volume sur pied non exploité, mais aussi le bois mort et le stockage de la matière organique

dans le sol représentent trois compartiments clé stockant de nombreux éléments minéraux, dont le carbone. Sur une vaste surface de forêt naturelle et dans des conditions climatiques stables, on peut considérer que le cycle du carbone s'équilibre. L'effet " puits " est nul, car le carbone stocké par la croissance des arbres est repris dans le cycle par suite de la décomposition du bois mort et la respiration des microorganismes. Le stock de carbone est en équilibre et il est donc primordial de limiter la déforestation des forêts encore vierges, notamment boréales et tropicales, action qui libérerait beaucoup de carbone.

Par contre, le carbone stocké dans nos forêts artificielles ou semi-naturelles a été réduit. Dans ces forêts, les deux premiers compartiments cités ci-dessus (volume sur pied non exploité, le bois mort) sont plus faibles que dans les forêts naturelles. Nous venons de voir que entre 40 et 150 m<sup>3</sup>/ha de bois mort manquent le plus souvent dans nos forêts semi-naturelles. Le volume sur pied (moyenne de 147 m<sup>3</sup> Bois Fort/ha) serait lui aussi en moyenne inférieur d'un facteur 3 par rapport aux valeurs connues pour les forêts naturelles européennes (Dupouey et al. 2000). Le dernier compartiment (stockage de la matière organique dans le sol) a très largement été appauvri par l'usage centenaire des sols (usages agricoles ou pastoraux anciens, érosion des horizons humifères, voir plus récemment par la sylviculture intensive).

En conclusion, une restauration progressive d'un fonctionnement naturel du cycle du carbone dans nos forêts présente un équivalent sérieux aux "puits de carbone" par reboisements artificiels. Un calcul rapide permet d'ébaucher deux alternatives à la pensée unique des puits de carbone par reboisement artificiel :

- l'augmentation à 15 m<sup>3</sup>/ha du volume de bois mort dans toutes nos forêts semi-naturelles (actuellement égal à 2,2 m<sup>3</sup>/ha en moyenne) permettrait de mobiliser en l'espace de quelques années l'équivalent du carbone fixé en 50 ans par 30 000 ha de reboisements artificiels (soit 1,4 MtC/an selon Dupouey et al., 2000). Ce choix est des plus réaliste puisqu'il existe en Europe des pays ou des régions, de Suisse par exemple, présentant une moyenne de bois mort supérieure ;
- la création de trois réserves intégrales de classe européenne (surface écologiquement très intéressante de 10 000 ha) à partir d'une forêt semi-naturelle productive (mais pauvre en bois mort) et sa libre évolution (calcul sur 80 ans, temps pour qu'une forêt non exploitée acquière une forte naturalité, un taux de bois mort important et vieillisse sur pied), équivaldrait, en première approximation, à fixer au minimum autant de carbone que les 30 000 ha de reboisement artificiel prévus par le MATE n'en fixeraient en 50 ans (soit 1,4 MtC/an).



## ► Sécurité et responsabilité en forêt

Selon certains forestiers, "dans une forêt naturelle, les branches mortes suspendues dans les airs menacent le promeneur désorienté dans un spectacle de désolation". De plus la responsabilité juridique du propriétaire est engagée pour tout accident (promeneur blessé, dégât matériel sur un véhicule,...). Le raccourci est donc vite fait : il n'est pas envisageable pour des raisons de sécurité de conserver des arbres morts, sauf de façon anecdotique. Attardons-nous donc sur un danger beaucoup moins réel pour le touriste en forêt que pour le propriétaire face à une société procédurière refusant tout risque naturel.

### • QUELQUES ÉLÉMENTS POUR UNE ANALYSE RAISONNÉE

La forêt par temps de grands vents et de tempêtes est un milieu naturel dangereux. Toutefois, avec raison, les grands mammifères savent trouver refuge dans les clairières dans ces conditions. Les promeneurs doivent, quel que soit le type de forêts, comprendre cette prudence nécessaire par grand vent et après les tempêtes. En dehors de ces conditions extrêmes, la probabilité pour qu'un promeneur voit tomber un arbre dans une forêt est très faible. En France, les arbres tombent à 99% suite à une perturbation (comme une tempête ou, surtout, l'exploitation forestière). Qu'il se trouve sous l'arbre qui tombe encore plus. De plus, en dehors des parcs périurbains sur-fréquentés, notons que le promeneur ne sort pas des chemins balisés, à plus de 90%.

*Probabilité en forêt exploitée avec et sans bois mort*  
La probabilité est plus forte en forêt exploitée, puisqu'il y a des activités d'abattage justement. Rappelons que près de 400 accidents graves et 2500 accidents avec arrêt maladie touchent chaque année les professionnels de l'exploitation forestière. Malgré l'exploitation, la probabilité qu'un accident arrive à un promeneur dans ces conditions est pourtant dans la réalité française nulle en forêt exploitée. Pour ce qui est des loisirs en forêt le nombre de morts ou accidents graves relève surtout d'acci-

dents de chasse (plusieurs dizaines par an). Maintenir 4 gros arbres morts à l'ha signifie une mise au sol naturelle très inférieure à 0,4 arbres/an. Cela correspond à augmenter de 1 pour 1,3 milliard la probabilité pour qu'un promeneur traverse sur le chemin un jour sans vent dans la minute où l'arbre tombe dans l'ha. Et le promeneur ne sera pas touché si quelques mesures de précaution sont prises justement pour exploiter les volis à proximité des chemins.

### *Probabilité en forêt naturelle*

En forêt naturelle, dans une réserve naturelle intégrale ancienne par exemple, il existe environ 40 à 140 arbres morts par ha, avec une production annuelle de 2 à 10 arbres/an. La fréquentation est régulée, orientée, voire réglementée dans certaines zones (exemple : interdiction de sortir des chemins). Le même calcul de probabilité est supérieur de 5 à 25 fois, mais reste faible (1 pour 260 millions à 1 pour 52 millions). Le nombre de chemin est plus faible ou doit tendre à le devenir. Dans la réalité des réserves naturelles françaises, aucun accident n'est à déplorer pour cette raison.



### • CONCLUSION

De façon raisonnable, l'ONF dans son "Instruction sur la prise en compte de la diversité biologique" (1993) note qu'il est souhaitable d'« éviter le maintien de vieux arbres à proximité immédiate des chemins et des lieux de grande fréquentation ». Cela nous semble une prudence nécessaire et suffisante, sans limitation de nombre d'arbres mort à l'hectare et de taille.





## Conclusion et perspectives

Aujourd'hui, par la loi, la responsabilité du forestier recouvre aussi la gestion de la vie des forêts, la diversité de la faune et de la flore. Or dans l'écosystème, la vie et la mort sont liées : le bois mort est indispensable à la vie d'une kyrielle d'espèces animales et végétales. Une forêt naturelle contenant au minimum 40 m<sup>3</sup>/ha de bois mort en décomposition est bien plus riche en biodiversité qu'une plantation artificielle de conifères contenant ni bois mort, ni sous-bois.

Pour faire évoluer la gestion forestière, deux voies complémentaires s'offrent au forestier :

- la protection de forêts libres de toute exploitation, dans lesquelles le fonctionnement naturel (dont les cycles géochimiques) ne sont pas perturbés ou tronqués. Ceci peut être entrepris par la modification de la gestion forestière dans les espaces protégés (zones centrales de parc national et réserves naturelles ou biologiques notamment) et la création de nouvelles réserves naturelles, notamment intégrales et de grande surface (bassin versant), comme demandé par 224 scientifiques dans leur "Appel des scientifiques pour la protection des forêts en France" (septembre 2001, [www.multimania.com/appelscience/appel.html](http://www.multimania.com/appelscience/appel.html))
- l'amélioration de la gestion forestière courante, en prescrivant des règles de gestion permettant de maintenir les micro-habitats néces-

saires à la vie des espèces dépendant des arbres âgés, des cavités et du bois mort en décomposition. Compte tenu des données quantitatives présentées précédemment et de la biologie des espèces considérées, il est évident qu'il ne s'agit pas seulement de maintenir un arbre de petit diamètre à l'ha pour améliorer significativement les conditions d'expression de la biodiversité. D'un point de vue scientifique, il s'agit de penser pour chaque espèce ou groupe d'espèces aux micro-habitats offerts, en terme de nombre, de diversité, de qualité et de dynamique dans l'espace et le temps. D'un point de vue pratique, le maintien de 15 m<sup>3</sup>/ha de bois régulièrement réparti (dont 2 chablis et 2 volis de diamètre > 40 cm par ha) et la mise en place d'îlots de vieillissement permanents et en densité suffisante sont susceptibles d'améliorer très rapidement la biodiversité.

Les recherches récentes sur le sujet des bois morts sont rares en France dans les forêts gérées (voir Pichery, 2001 pour une étude récente appliquée à la régénération), comme dans les réserves intégrales (voir Garrigue et Magdalou, 2000). Des recherches complémentaires avec suivi écologique d'espèces indicatrices sur quelques applications de terrain sont donc nécessaires pour affiner et adapter à la diversité de nos écosystèmes forestiers la pertinence de ces premières propositions.

# Références

- Ammer, U. (von) 1991. Konsequenzen aus den Ergebnissen der Tothholzforschung für die forstliche Praxis. Forstw. Cbl., 110 : 149-157.
- André, J. 1997a. La phase hétérotrophe du cycle sylvigénétique. Les dossiers de l'environnement de l'INRA, 15 (spécial Forêts) : 87-99.
- André, J. 1997b. La protection des systèmes forestiers, de leurs espèces structurantes aux processus hétérotrophes. *Ecologie*, 28(1) : 85-89.
- Arpin, P. (coord.) 2001. Les insectes saproxylophages liés aux arbres sénescents ou morts. MNHN/ONF, Les dossiers forestiers, n°9 : 145-159.
- Blondel, J. 1995. Biogéographie : approche écologique et évolutive. Masson, Paris, 297 pages.
- Brassel, P., Brändli (eds.) 1999. Inventaire forestier national suisse. Résultats du deuxième inventaire 1993-1995. Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne, 442 pages.
- Dajoz, R. 1974. Les insectes xylophages et leur rôle dans la dégradation du bois mort. In Pesson, P. 1974. *Ecologie forestière*. Gauthier-Villars, Paris, pp. 257-287.
- Dobbertin, M., Baltensweiler, A., Rigling, D. 2001. Tree mortality in an unmanaged mountain pine (*Pinus mugo* var. *uncinata*) stand in the Swiss National Park impacted by root rot fungi. *Forest ecology and management*, 145 : 79-89.
- Dupouey, J.L., Pignard, G., Badeau, A., Thimonier, A., Dhôte, J.F., Nepveu, G., Bergès, L., Augusto, L., Belkacem, S., Nys, C. 2000. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. *Revue forestière française*, n°spécial 2000 : 139-154.
- Falinski, J.B. 1978. Uprooted trees, their distribution and influence in the primeval forest biotope. *Vegetatio*, 38(3) : 175-183.
- Franklin, J.F., Shugart, H.H., Harmon, M.E. 1987. Tree death as an ecological process. *Bioscience* 37(8) : 550-556.
- Fridman, J., Walheim, M. 2000. Amount, structure and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest ecology and management*, 131 : 23-26.
- Froideveaux, L. 1975. Dans la réserve de Derborence, un rescapé de l'exploitation des forêts : *Poria terrestris* (DC ex Fr.) Sacc., mycorrhizique sur *A. alba*, *L. decidua* et *P. abies*. *Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen*, 126(1) : 65-66
- Ganey, J.L. 1999. Snag density and composition of snag populations on two national forests in the northern Arizona. *Forest ecology and management*, 117 (1-3) : 169-178.
- Goodburn, J.M., Lorimer, C.G. 1998. Cavity trees and coarse woody debris in old-growth and managed northern hardwood forests in Wisconsin and Michigan. *Canadian Journal of Forest Research*, 3 : 427-438.
- Green, P., Peterken, G.F. 1997. Variation in the amount of dead wood in woodlands of the Lower Wye Valley, UK, in relation to the intensity of management. *Forest ecology and management*, 98(3) : 229-238.
- Garrigue, J., Magdalou, J.A. 2000. Réserve naturelle de la Massane : suivi forestier & cartographie assistée par système d'information géographique. *Travaux scientifiques*, 55, 44 pages.
- 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., Cromarck, J.R., Cummins, K.W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. In Mac Fayed & Ford (eds) *Advances in Ecological Research*. Academic Press, London, pp. 133-302.
- Harmon, M.E., Sexton, J. 1996. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. LTER network publications 20, Seattle.
- Hartd, R.A., Swank, W.T. 1997. A comparison of structural and compositional characteristics of southern Appalachian young second-growth, maturing and old-growth stands. *Natural Areas Journal*, 17 : 42-52.
- Hatsch, E., Dupouey, J.L., Dubreuil, B., Guillaud, J. 1999. Impact du champignon parasite *Phellinus robustus* et des cavités nidifiables sur la croissance des chênes sessile et pédonculé. *Revue forestière française*, 51(4) : 511-521.
- Kirby, K.J., Reid, C.M., Thomas, R.C., Goldsmith, F.B. 1998. Preliminary estimates of fallen dead wood and standing dead trees in managed and unmanaged forests in Britain. *Journal of Applied Ecology*, 1 : 148-155.
- Kirby, K.J., Webster, S.D., Antczack, A. 1991. Effects of forest management on stand structure and quantity of fallen dead wood : some British and Polish examples. *Forest ecology and management*, 43 : 167-174.
- Koop, H., Hilgen, P. 1987. Forest dynamics and regeneration mosaic shift in unexploited beech (*Fagus sylvatica*) stands at Fontainebleau (France). *Forest ecology and management*, 20 : 135-150.
- Lecomte, H. 2000. L'inventaire permanent des ressources forestières de Wallonie. Actes du colloque "Inventaire et suivi de la biodiversité en Région wallonne", La Marlagne, Mars 2000.
- Lee, P. 1998. Dynamics of snags in aspen-dominated midboreal forests. *Forest ecology and management*, 105(1-3) : 263-272.

- Mac Millan, P.C. 1981. Log decomposition in Donaldson's Woods, Spring Mill State Park, Indiana. *American Midland Naturalist*, 106 : 335-344.
- Muller, R.N., Yan Liu 1991. Coarse woody debris in an old-growth deciduous forest on the Cumberland Plateau, southeastern Kentucky. *Canadian Journal of Forest Research*, 11 : 1567-1572.
- Nageleisen, L.M. 2002. Les arbres morts sont-ils dangereux pour la forêt ? *Xylobios Workshop, Mont Rigi (Belgique)*, 11 et 12 mars 2002.
- ONF, 1993. Instruction sur la prise en compte de la diversité biologique dans l'aménagement et la gestion forestière. Paris, 18 pages.
- ONF, 1998. Arbres morts, arbres à cavités. Pourquoi, comment ? Guide technique, Fontainebleau, 32 pages.
- Pasinelli, G. 2000. Oaks (*Quercus sp.*) and only oaks ? Relations between structure and home range size of the middle spotted woodpecker (*Dendrocopos medius*). *Biological conservation*, 93 : 227-235.
- Pautz, F. 1998. Origine et importance de la cavité arboricole pour les oiseaux. *Le courrier de la Nature*, 170 : 27-31.
- Pichery, Ch. 2001. Eléments de réflexion pour une meilleure gestion du bois mort en forêt. *Rapport ENGREF/FIF, Nancy*, 95 pages + annexes.
- Pontailler, J.Y., Faille, A., Lemée, G., 1997. Storms drive successional dynamics in natural forests: a case study in Fontainebleau forest (France). *Forest Ecology and Management*, 98(1) : 1-15.
- Ranius, T. 2000. Minimum viable metapopulation size of a beetle, *Osmoderma eremita*, living in tree hollows. *Animal Conservation*, 3(1) : 37-43.
- Ranius, T., Hedin, J. 2001. The dispersal rate of a beetle, *Osmoderma eremita*, living in tree hollows. *Oecologia*, 126(3) : 363-370.
- Rauh, J., Schmitt, M. 1991. Methodik und Ergebnissen der Tothholzforschung in Naturwaldreservaten. *Forstw. Cbl.*, 110 : 114-127.
- Siitonen, J. 2001. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms : Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49 : 11-41.
- Siitonen, J., Martikainen, P., Punttila, P., Rauh, J. 2000. Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest ecology and management*, 128 : 211-225.
- Speight, M.C.D. 1989. Saproxylic invertebrates and their conservation. Strasbourg, Council of Europe, 82 pages.
- Spetich, M.A., Shifley, S.R., Parker, G.R. 1999. Regional distribution and dynamics of coarse woody debris in midwestern old-growth forests. *Forest science*, 45(2) : 302-313.
- Stöckli, B. 1996. La régénération des forêts de montagne sur du bois mort. *La forêt*, 49(2) : 6-12.
- Travé, J., Duran, F., Garrigue, J. 1999. Biodiversité, richesse spécifique, naturalité. L'exemple de la Réserve Naturelle de la Massane. *Travaux scientifiques de la Réserve Naturelle de la Massane*, 50 : 1-30.
- Tyrrell, L.E., Crow, T.R. 1994a. Structural characteristics of old-growth hemlock-hardwood forest in relation to age. *Ecology*, 75(2) : 370-386.
- Tyrrell, L.E., Crow, T.R. 1994b. Dynamics of dead wood in old-growth hemlock-hardwood forests of northern Wisconsin and northern Michigan. *Canadian Journal of Forest Research*, 8 : 1672-1683.
- Vallauri, D. 2000. Si la forêt s'écroule... Quels fondements pour la gestion forestière française après les tempêtes ? *Rapport scientifique WWF, Paris*, 26 pages.
- Vallauri, D., Poncet, L. 2002. Etat de la protection des forêts en France : indicateurs 2002. *Rapport WWF, Paris*, 100 pages.







**Crédits photos :**

- J. Travé, Réserve Naturelle de la forêt de Massane :  
page 10 (en haut à droite).

- J. Garrigue, Réserve Naturelle de la forêt de Massane :  
page 10 (à gauche et en bas à droite), pages 12 et 25.

- D. Vallauri, WWF-France :  
pages 1, 7, 11 (à gauche), 13 et 27.

- Timo Väire/Luontokuvat : page 11 (à droite).

**Maquette :** Sambou-Dubois

# Le bois mort, un attribut vital de la biodiversité de la forêt naturelle, une lacune des forêts gérées

**Résumé.** Le bois mort est une composante essentielle des forêts naturelles, qui est absente de la plupart des forêts gérées (seulement 2,23 m<sup>3</sup>/ha en France en moyenne, 75 % des forêts françaises sans bois mort). Cette lacune met en difficulté une biodiversité spécifique, riche et originale par la perte d'habitats ou de nourriture, notamment pour les communautés d'espèces cavicoles et saproxyliques. Elle présente des répercussions sur le fonctionnement de l'écosystème (cycles géochimiques, productivité). Ce rapport est une synthèse de la littérature scientifique sur le compartiment bois mort, sa biodiversité, son rôle écologique et sa description quantifiée à partir de données fournies par l'étude de forêts naturelles de référence (réserves intégrales tempérées). Une forêt naturelle compte de 40 à 200 m<sup>3</sup> de bois mort par hectare, de 40 à 140 arbres morts par ha, d'une dizaine à près de 40 volis par ha, plus de 10 arbres par ha présentant au moins une cavité. Quelques éléments de la dynamique naturelle du bois mort sont analysés. Après une brève comparaison chiffrée de la situation actuelle du compartiment bois mort dans les régions françaises et l'Europe, des propositions sylvicoles sont formulées : un objectif pour les forêts gérées égal à 15 m<sup>3</sup>/ha à moyen terme, dont 5 à 10 m<sup>3</sup>/ha dès que possible, comprenant 2 chablis et 2 volis à l'ha de diamètre supérieur à 40 cm. Elles sont discutées et économiquement chiffrées pour participer à restaurer un compartiment bois mort susceptible de permettre la conservation durable de la biodiversité dépendant du bois mort.



## ► Daniel Vallauri

WWF-France  
188 rue de la Roquette, 75011 Paris  
Tél. : 00 33 (0)1 55 25 84 84  
Fax : 00 33 (0)1 55 25 84 74  
e.mail : dvallauri@wwf.fr

## ► Jean André

Université de Savoie, LDEA  
73376 Le Bourget-du-Lac cedex  
e.mail : andre@univ-savoie.fr

## ► Jacques Blondel

CEFE-CNRS UPR 9056  
1919 route de Mende  
34293 Montpellier cedex 5  
e.mail : blondel@cefe.cnrs-mop.fr

## Deadwood, a vital attribute of old-growth forest biodiversity, a gap in managed forests.

**Summary.** Deadwood is a main component of old-growth forests, which is lacking in most of the managed forests (only a mean of 2.23 m<sup>3</sup>/ha in France, 75% of French forest with no deadwood). This gap threatens a dependant, rich and original biodiversity by the loss of habitats and food, especially communities of cavity dwellers and saproxylic species. It presents severe repercussions on ecosystem function (geochemical cycles, productivity). This article reviews the scientific literature on deadwood, its biodiversity, its ecological role and its quantitative description from data provided by the study of reference forests (old-growth temperate forests). An old-growth forest contains from 40 to 200 m<sup>3</sup> of deadwood per ha, from 40 to 140 dead trees per ha, from 10 up to 40 snags per ha, more than 10 trees per ha with at least one cavity. Some components of the natural dynamics of deadwood are analysed. Following a brief comparison to the current situation of deadwood in French regions and Europe, some management propositions are presented : a goal for managed forest equal to 15 m<sup>3</sup>/ha at mid-term, and 5 to 10 m<sup>3</sup>/ha as soon as possible, with 2 uprooted trees and 2 snags per ha with a diameter superior to 40 cm. They are discussed and economically valued in order to help the restoration of the amount of deadwood compulsory for the conservation of the biodiversity depending on deadwood.