

GÉRER UNE FORÊT COMMERCIALE SELON UNE APPROCHE INTÉGRATIVE : RÊVE OU RÉALITÉ ? LE CAS DE LA FORÊT DE STEIGERWALD (BAVIÈRE, ALLEMAGNE)

ULRICH MERGNER^a – DANIEL KRAUS^a – LAURENT LARRIEU^{b,c}

L'ENTREPRISE FORESTIÈRE D'ÉTAT EBRACH

Depuis la réorganisation de l'administration forestière bavaroise en 2005, les forêts domaniales sont gérées par 41 entreprises forestières régionales (Bayerische Staatsforsten, BaySF). L'entreprise forestière d'Ebrach comprend les forêts domaniales des anciens districts forestiers d'Ebrach, Gerolzhofen, Eltmann et Burgebrach. Elle gère une superficie d'environ 17 000 hectares dans la région de Steigerwald, en Franconie (figure 1, p. 34), entre Würzburg et Nürnberg, dans le nord-ouest de la Bavière. L'entreprise forestière d'État Ebrach est responsable de l'une des plus importantes forêts dominées par le Hêtre européen (*Fagus sylvatica*) en Allemagne (photo 1, p. 34 ; tableau I, p. 35). La forêt est composée d'environ 75 % de feuillus — principalement du Hêtre pour 44 % de la surface forestière, et du Chêne rouvre (*Quercus petraea*) pour 21 % — et de 25 % de conifères, le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) étant l'essence dominante, représentant environ 13 %. Le stock moyen de bois est actuellement d'environ 388 m³/ha (volume bois fort) avec un taux de croissance annuel d'environ 168 000 m³, soit environ 10 m³/ha/an. Le volume de bois coupé annuellement s'élève à environ 120 000 m³, dont 95 000 m³ sont vendus comme bois d'œuvre et 25 000 m³ restent comme bois mort couché dans la forêt (ainsi environ 55 % de l'accroissement est exporté de l'écosystème). Comme le montre la différence entre le taux de croissance et le taux de coupe, il est prévu d'augmenter encore les niveaux de bois sur pied dans la zone forestière productive. Un réseau de 4 500 parcelles d'inventaire permanentes est positionné sur l'ensemble de la zone forestière sur une grille régulière de 200 x 200 m (100 x 100 m dans les réserves strictes), en accord avec le standard utilisé dans toutes les forêts d'État en Bavière. Tous les 10 ans, un inventaire réalisé sur l'ensemble des placettes fournit des données précises qui servent de base aux plans de gestion forestière décennaux. Il coûte en moyenne 700 000 euros.

L'objectif global de gestion des forêts de l'État d'Ebrach est d'optimiser la valeur de tous les services écosystémiques disponibles plutôt que de maximiser un seul service. Environ 90 % du bois de feuillus est commercialisé dans la région auprès de plus de 25 scieries, dont la plupart sont des entreprises familiales spécialisées dans les feuillus. Près de 20 000 m³ de bois de chauffage vendus à 2 000 clients commerciaux, privés et locaux, font d'Ebrach l'un des plus grands

a Bayerische Staatsforsten, Forstbetrieb Ebrach, 96157 Ebrach, Allemagne

b CNPF-CRPF Occitanie, Antenne de Tarbes, 65000 Tarbes, France

c Université de Toulouse, INRAE, UMR DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan, France

producteurs de bois en Allemagne. Ce bois de chauffage provient principalement des éclaircies dans les jeunes peuplements, mais également des surbilles de faible qualité. L'entreprise fournit actuellement du travail à 60 employés forestiers (35 ouvriers forestiers dont des apprentis, 10 techniciens, 6 personnels administratifs, 6 stagiaires et 3 cadres) ainsi qu'à 12 entrepreneurs locaux avec leur personnel. Plus de 600 sources et 241 ha de zones désignées pour la production d'eau potable font de cette forêt domaniale un fournisseur majeur d'eau potable de haute qualité pour les communautés environnantes. Environ 336 km de sentiers de randonnée sont à la disposition des nombreux visiteurs qui viennent dans la région de Steigerwald pour leurs loisirs. En outre, 10 campings de randonnée sont disponibles pour des activités de pleine nature. Chaque année, entre 60 et 70 personnes chassent avec un permis temporaire et plus de 1 000 chasseurs participent aux 40 battues dirigées. Ensemble, ils apportent une contribution essentielle pour atteindre l'objectif de 1 000 chevreuils prélevés chaque année, en accord avec un plan de gestion trisannuel. Au final, sept chevreuils sont en moyenne prélevés pour 100 ha. 30 % de la viande d'ongulés sauvages (dont 200 à 300 sangliers) est commercialisée directement par l'entreprise forestière.

**FIGURE 1
CARTE DE LOCALISATION
DE LA FORÊT D'EBRACH
(BAVIÈRE, ALLEMAGNE)**

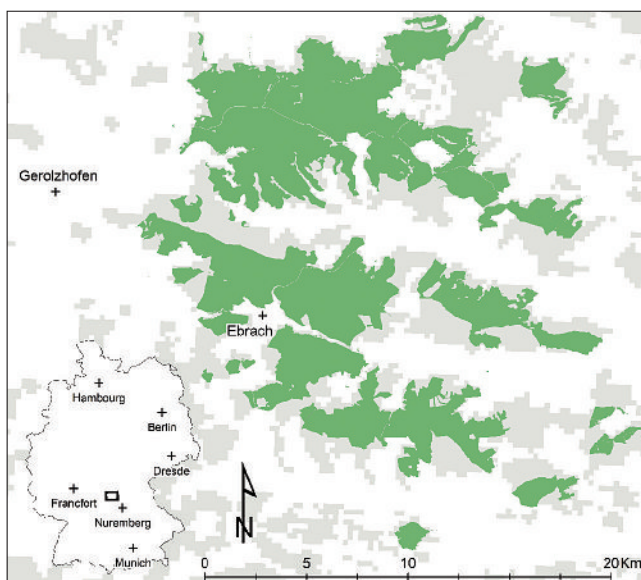


Photo 1
Les hautes terres sises sur les formations du Keuper qui font partie des Scarplands du sud de l'Allemagne, s'élèvent brusquement du plateau franconien et forment la région légèrement vallonnée de Steigerwald, caractérisée par ses vastes forêts dominées par le Hêtre européen ; en bas à droite, la tour d'observation qui termine le parcours touristique « chemin de la canopée »

Photo Martin Hertel, Bayerische Staatsforsten
A&R

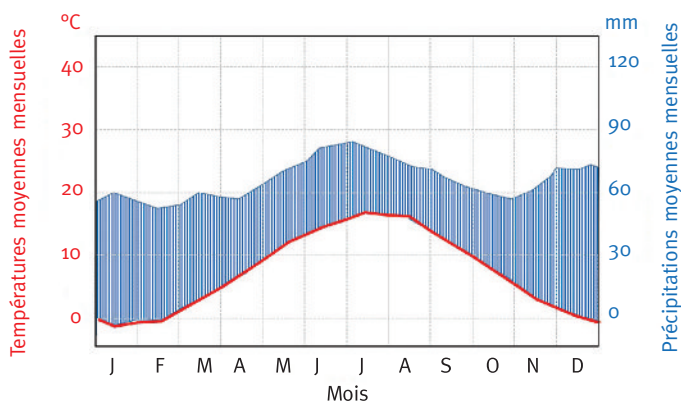
TABLEAU I La forêt d'Ebrach en bref

Localisation	Bavière, Allemagne
Superficie totale des forêts	16 500 ha (1 200 ha de surface en libre évolution permanente ; production de bois sur 15 300 ha)
Type de propriété	Forêt d'État
Climat	Température annuelle moyenne de 7,5 °C, précipitations annuelles moyennes de 850 mm (diagramme ombrothermique en figure 2, ci-dessous)
Géologie	Principalement des marnes de gypse et de dolomie, des argiles et du grès, qui ont été déposés au cours du Trias moyen et supérieur (étage du Keuper, il y a environ 220 millions d'années)
Sols	Mosaïque à petite échelle de sols sableux, marneux ou argileux, pour la plupart riches en nutriments ; 50 % des sols sont contraignants pour la pénétration des racines fines, 75 % sont sensibles aux dommages causés au sol par les machines forestières
Principales essences	Hêtre européen, Chêne sessile, Pin sylvestre
Principaux types de traitement	Balivage en détournage d'arbres de place ; régénération par coupes progressives visant une structure irrégulière par petits bouquets (environ 700 m ² en moyenne) ; futaie irrégulière pied à pied et par bouquets
Volume bois fort total sur pied	388 m ³ /ha (soit environ 6 100 000 m ³ au total)
Accroissement annuel moyen	10,6 m ³ /ha/an (soit environ 168 000 m ³ au total)
Taux de prélèvement	7,7 m ³ /ha/an
Volume de bois mort (au sol et chandelles, Ø >7 cm)	23 m ³ /ha en moyenne
Zone protégée	1 200 ha en libre évolution permanente
Zone Natura 2000	ZSC (habitats et espèces) 11 465,5 ha ; ZPS (oiseaux) 11 528,2 ha

FIGURE 2

**DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE ;
STATION D'EBRACH (49,8520° N, 10,4990° O, 346 m) ;
MOYENNES POUR LA PÉRIODE 1984-2014**

Ebrach étant sous climat continental, le ratio des échelles employé est P = 3T (un croisement de courbes indiquerait les mois « sub-secs »)

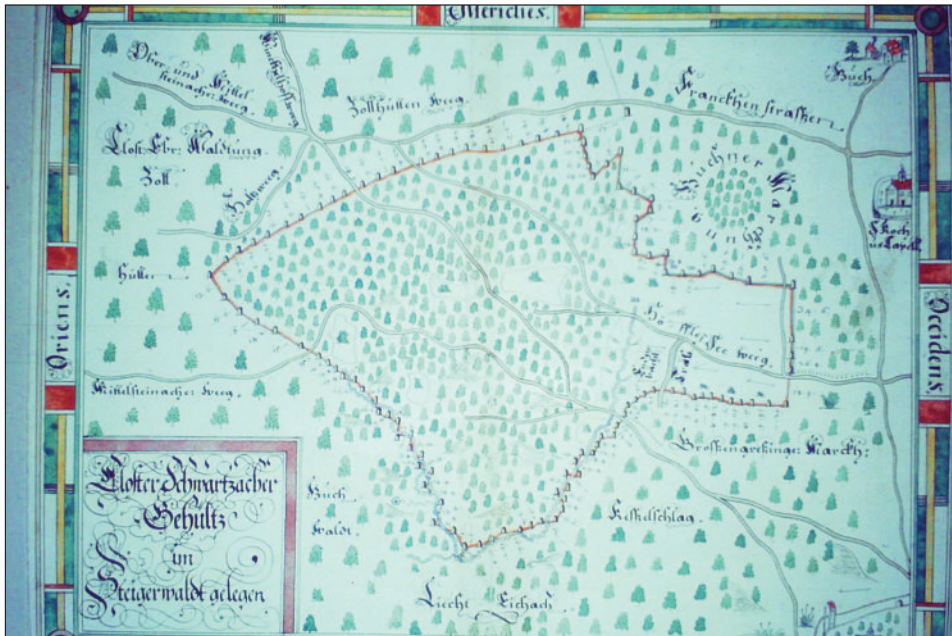


HISTOIRE ET PATRIMOINE CULTUREL DES FORÊTS RÉGIONALES

Les forêts du nord de la région de Steigerwald ont fait partie de la couronne franque après la défaite des Francs contre les Thuringiens. Elles ont d'abord appartenu à la dynastie mérovingienne, puis à la dynastie carolingienne. L'administration de toute la région était entre les mains des comtes résidant dans la ville de Volkach. Au début du XI^e siècle, les princes-évêques de Würzburg se sont vu accorder les droits des comtes sur la plupart des territoires francs de l'Est. En 1023, l'empereur Heinrich II accorda le privilège de chasse dans les forêts de Steigerwald au prince-évêque Meginhard I, tandis que la partie orientale de la région septentrionale de Steigerwald était sous la domination des archevêques de Bamberg. Plusieurs ruines de châteaux et autres bâtiments présents dans la forêt sont les témoins de cette évolution historique (par exemple, les ruines de Zabelstein, de Scherenburg ou de St Gangolf). Cette histoire a eu une influence considérable sur les pratiques de gestion forestière de l'époque. En effet, les forestiers des princes-évêques de Würzburg s'efforçaient de préserver le caractère original des forêts de feuillus, tandis que les forestiers du royaume de Bamberg introduisaient largement le Pin sylvestre. De 1151 jusqu'à la sécularisation en 1803, les forêts situées directement autour d'Ebrach appartenaient au monastère cistercien fondé en 1127 (figure 3, ci-dessous). Environ 20 % de la surface forestière actuelle était alors utilisée à des fins agricoles. Plusieurs établissements ont été abandonnés à l'initiative des moines cisterciens dès le XIV^e siècle car la production de bois leur était plus profitable que l'agriculture. Au cours des XVII^e et XVIII^e siècles, la pratique sylvicole courante du taillis avec réserve favorisait les essences telles que les Chênes et le Charme (*Carpinus betulus*). Dans la deuxième moitié du XVII^e siècle, plusieurs fours à verre ont été installés dans les forêts du nord

FIGURE 3 DES CARTES HISTORIQUES DU XVIII^e SIÈCLE ILLUSTRENT L'INFLUENCE DE LA PROPRIÉTÉ SUR LES PRATIQUES DE GESTION FORESTIÈRE

Les forêts de l'abbaye cistercienne d'Ebrach entourent les terres de l'abbaye bénédictine de Münsterschwarzach où la production de grands chênes était moins importante
(Source : Archives de l'État bavarois de Würzburg ; photo Forstbetrieb Ebrach)



du Steigerwald afin d'utiliser plus efficacement et plus directement les ressources en bois disponibles. Les vitres et les plaques de verre qui y étaient produites par le procédé du soufflage en couronne étaient très appréciées et étaient exportées jusqu'en Hollande et en Angleterre. L'architecte Balthasar Neumann a utilisé le verre de Fabrikschleichach dans le célèbre palais de la résidence de Würzburg.

Au début du XIX^e siècle, les forêts des diocèses de Würzburg et de Bamberg tombent sous la domination du royaume de Bavière. Dès lors, la pratique courante d'une forme particulière de taillis avec réserve dominés par le Chêne et caractérisés par un fort volume sur pied a été convertie en futaie dominée par les feuillus. Les conditions préalables à la dominance du Hêtre ont été créées par de nouvelles pratiques sylvicoles où la canopée est restée largement fermée et également par ensemencements massifs, par exemple en 1811, 1820 et 1822. Suite à une interprétation excessive du concept de forêts mixtes de Karl Gayer (1886), des coupes fortes ont été mises en œuvre pour établir des peuplements mixtes de Hêtre, Chêne sessile, Charme, Pin sylvestre, Épicéa commun (*Picea abies*) et de Mélèze d'Europe (*Larix decidua*) de 1880 à 1913. Après une évaluation ministérielle de l'état des forêts en 1913, l'introduction de la technique de régénération par bouquets a été ordonnée comme principal instrument de régénération dans le but d'augmenter la part des conifères. Cette pratique s'est poursuivie jusque dans les années 1950 et a entraîné une interruption de la régénération des chênes. Le Hêtre, en tant qu'essence principale, a perdu depuis 1930 près de 30 % de sa distribution initiale. L'Épicéa commun, en revanche, est passé à plus de 20 % dans les jeunes classes d'âge. Sa croissance rapide dans les premières années suivant l'établissement a entraîné des qualités généralement faibles. Une gestion cynégétique fondée pendant des décennies sur la production de trophées remarquables a provoqué une forte augmentation de la population de chevreuils jusqu'à la fin du XX^e siècle. En conséquence, la dynamique de régénération naturelle s'est interrompue et la coupe à blanc suivie de la replantation de conifères est devenue la pratique courante. Les vestiges de vieilles hêtraies résultant de l'évolution des pratiques sylvicoles au début du XIX^e siècle sont encore visibles dans la réserve forestière intégrale de Kleinengelein. Les arbres atteignent 50 m de hauteur totale et ont environ 240 ans. La régénération du Hêtre s'est mise en place vers 1911 lors de la dernière coupe progressive et forme le sous-bois actuel. On observe des arbres reliques du taillis avec réserve précédent et qui sont âgés de 330 à 370 ans.

De la fin des années 1940 à 1980, le taux de prélèvement annuel dans l'ancien district forestier d'Ebrach était considérablement plus élevé que la moyenne bavaroise (6 à 6,5 m³ par hectare et par an) ; par exemple environ 9,5 m³/ha/an ont été récoltés chaque année entre 1962 et 1971. L'augmentation du taux de prélèvement était censée réduire le stock excédentaire de grandes et vieilles hêtraies qui était indiqué dans le plan de gestion forestière de 1962. Georg Sperber, agent forestier du district, a introduit un changement radical des pratiques sylvicoles en 1973 : une sylviculture proche de la nature, une réduction intensive des fortes populations de chevreuils et l'installation de clôtures ont permis d'obtenir une régénération à large échelle des espèces de feuillus. Le traitement intensif mais soigneux des anciennes hêtraies est aujourd'hui illustré par des peuplements à deux strates ou à structure irrégulière. Cependant, l'augmentation prévue du stock sur pied a été entravée par les tempêtes Vivian et Wiebke en 1992 qui ont généré environ 150 000 m³ de chablis. C'est pourquoi la moyenne du volume sur pied était relativement faible à la fin du XX^e siècle, environ 330 m³ par hectare.

Un développement particulier caractérise les forêts autour du village de Fabrikschleichach. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les forêts de la région de Steigerwald ont dû fournir de grandes quantités de bois pour soutenir l'économie de guerre. Le prélèvement annuel s'élevait à 15 m³/ha, dépassant de loin le seuil d'une gestion durable. Contrairement à ses collègues des districts forestiers voisins, Moritz Pflaum, chef de l'ancien district forestier de Fabrikschleichach, n'a pas

surexploité son district en pratiquant des coupes à blanc de grande surface. Il a plutôt favorisé une sylviculture de couvert continue, mais en pratiquant des éclaircies fortes visant à éliminer tous les arbres mal formés. Cette pratique était plus ou moins identique aux principes du concept moderne de balivage en masse préconisés en France dans les années 1980 pour l'amélioration des peuplements feuillus (Hubert, 1983). En conséquence d'une éclaircie précoce et intensive, la plupart des arbres a développé des troncs relativement courts et de larges houppiers, ce qui réduit considérablement le risque de cœur rouge chez le Hêtre. L'inconvénient de cette gestion intensive a été la forte diminution des espèces associées aux dendromicrohabitats, car tous les grands arbres restant dans le peuplement étaient indemnes de singularités. Contrairement à ce qui s'est passé dans les forêts environnantes qui n'ont pas connu à l'époque une telle gestion intensive, la faune sensible et peu mobile, en particulier certains insectes saproxyliques, a localement disparu ou s'est extrêmement raréfiée (Müller, 2005).

PLUS PROCHE DE LA NATURE ; GRANDS PRINCIPES, OBJECTIFS ET STRATÉGIES DE L'ENTREPRISE EBRACH DEPUIS 2005

L'objectif principal de la sylviculture à Ebrach est de conserver une forêt dominée par le Hêtre qui donne son caractère à la région de Steigerwald et, en même temps, de maintenir la résilience des écosystèmes forestiers au changement climatique en augmentant la diversité dendrologique des peuplements (Thompson *et al.*, 2009) et leur capacité d'accueil pour les espèces forestières (conformément à « l'hypothèse d'assurance » de Yachi et Loreau 1999). Un traitement irrégulier et le recours à la régénération naturelle sont à la base du développement de peuplements structurellement diversifiées et inéquiennes. La préservation et l'amélioration de la diversité des habitats pour les espèces forestières ont toutefois conduit à repenser les principes de gestion de la sylviculture proche de la nature qui a constitué la stratégie principale à Ebrach pendant très longtemps (Bollmann, 2011 ; Gossner *et al.*, 2013). Ainsi, il devient de plus en plus important de gérer les forêts d'Ebrach comme des systèmes adaptatifs complexes, comme le suggèrent Messier *et al.* (2013).

Objectif 1 : Préserver et maintenir une forêt feuillue dominée par le Hêtre, caractéristique du Steigerwald

Stratégie : Travailler avec la nature, et non pas contre !

- Pas de coupe rase ;
- Structure irrégulière ;
- Rajeunissement des peuplements par régénération naturelle des essences indigènes ;
- Maintien d'une dominance du Hêtre ; des recherches récentes sur le rôle des mutations somatiques (Hanlon *et al.*, 2019) et de la mémoire transgénérationnelle (Bose *et al.*, 2020) pour l'acclimatation des arbres à des conditions environnementales changeantes permettent de considérer que cet objectif est pertinent ;
- Maintien d'une proportion de chênes à environ 20 % de la surface terrière ;
- Enrichissement avec des feuillus et du Sapin pectiné (par plantation ou semis) respectivement dans les peuplements purs de conifères ou de Hêtre ;
- Conservation de la biodiversité en combinant des zones en libre évolution permanente (réserves forestières intégrales, îlots de sénescence,...) et une gestion à impact minimal dans les peuplements exploités ;
- Conservation de bois mort et d'arbres-habitats (c'est-à-dire porteurs de dendromicrohabitats ; Büttler *et al.*, 2013).

Objectif 2 : Préserver le bien-être de la population

Stratégie : Viser le bénéfice global pour la société le plus élevé possible

— Respecter en conséquence les dispositions de l'article 18 de la loi bavaroise sur les forêts (BayWaldG) : « les fonctions de protection et de récréation ainsi que la biodiversité de la forêt doivent être sauvegardées et améliorées, les intérêts de la conservation de la nature et du paysage ainsi que la protection des eaux doivent être pris en compte dans toutes les activités et mesures forestières, et des fonctions spéciales pour le bien-être de la population doivent être assurées » ;

- Soutenir la recherche et l'éducation ;
- Acquérir des fonds pour financer des opérations non régaliennes à destination du public, comme l'installation de panneaux d'information ou la réalisation de pistes cyclables (la Bavière met en place des programmes dédiés à ces actions).

Objectif 3 : Efficacité économique

Stratégie : La plus grande valeur ajoutée possible avec un effort minimal

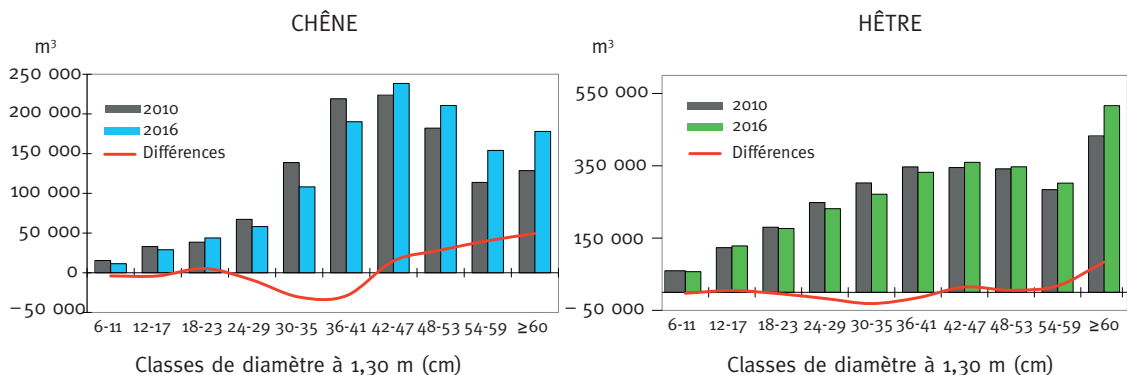
- Production et récolte de bois de valeur dans le cadre d'une sylviculture proche de la nature ;
- Automatisation biologique (par exemple, réduction du volume de travaux) ;
- Réduction conséquente des populations de Chevreuil pour diminuer les coûts de régénération ;
- Éviter la récolte de produits ligneux avec une marge bénéficiaire faible ou négative.

Objectif 4 : Des écosystèmes forestiers résilients et adaptables face au changement climatique

Stratégie : Des services écosystémiques pour les générations futures !

- La vitalité des arbres avant la qualité du bois ;
- Augmenter le stock sur pied (seulement des feuillus ; figure 4, ci-dessous) ;
- Augmenter la capacité de rétention d'eau des peuplements (par l'augmentation du volume de bois mort au sol, un couvert continu avec une stratification verticale étagée, un mélange d'essences et le respect des sols lors des exploitations) ;
- Maintenir des conditions climatiques stables à l'intérieur des peuplements ;

FIGURE 4 VARIATIONS DU STOCK TOTAL SUR PIED DE CHÊNE ET DE HÊTRE ENTRE 2010 ET 2016



- Prendre en compte la capacité des peuplements à stocker du carbone en conservant le fort pouvoir de rétention des vieux peuplements et en augmentant la croissance des jeunes peuplements par des éclaircies tout en diversifiant leur composition en essences ;
- Réduction de la pression d’abrousissement pour favoriser l’adaptation de la régénération naturelle à l’évolution des conditions environnementales ;
- Favoriser les essences résistantes à la sécheresse, surtout les autochtones comme l’Érable champêtre (*Acer campestre*) ou l’Alisier torminal (*Sorbus torminalis*), et dans une moindre mesure les essences allochtones.

PRINCIPAUX PRODUITS ET AUTRES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

L’objectif principal de la production de bois est de récolter du bois feuillu de haute qualité en sélectionnant précocement des arbres d’élite d’un diamètre à hauteur de poitrine compris entre 20 et 30 cm. Les concurrents directs sont éliminés avec précaution mais précocement afin que les arbres d’élite atteignent rapidement le diamètre d’exploitabilité. Celui-ci dépend à la fois de la qualité du bois et de l’essence (tableau II, ci-dessous) :

TABLEAU II Diamètres d’exploitabilités pour les essences feuillues (forêt d’Ebrach, Bavière)

Essences	Bonne qualité	Qualité moyenne
Hêtre	70-80 cm	50-70 cm
Chêne sessile	80-100 cm	60-80 cm
Frêne commun, Érables, <i>etc.</i>	70-90 cm	50-70 cm



Photo 2
Les chênes de haute qualité sont commercialisés principalement par le biais de ventes par soumission cachetée. La qualité tranchage est vendue entre 1 000 et 3 000 €/m³, le bois à merrain entre 400 et 600 €/m³, principalement à des clients français

Photo Ulrich Mergner

Le diamètre d'exploitabilité des conifères est fixé entre 50 et 70 cm. Pour les conifères, la qualité ne joue qu'un rôle mineur sur le diamètre d'exploitabilité, sauf pour les pins sylvestres et les mélèzes d'Europe disséminés issus des générations précédentes et qui ont une bille de qualité tranchage. Pour toutes les essences, le bois d'excellente qualité est généralement commercialisé par le biais de ventes aux enchères par soumission cachetée (photo 2, p. 40). Pendant la phase de croissance, il se récolte principalement du bois de chauffage et, dans une moindre mesure, du bois d'industrie.

Les assortiments de bois typiques pour le Hêtre sont indiqués dans le tableau III (ci-dessous) :

TABEAU III Répartition moyenne des qualités commerciales de bois pour le Hêtre en forêt d'Ebrach (Bavière)

Sciages de grande qualité/placage (qualité A)	10 %
Sciages réguliers (qualité B et C)	25 %
Bois d'industrie	5 %
Bois de chauffage	25 %
Bois mort restant sur le sol	35 %

Outre la production de bois, plusieurs services écosystémiques sont fournis par des zones forestières auxquelles on attribue une fonction principale. Un aperçu de la surface occupée par ces zones est donné dans le tableau IV (ci-dessous) :

TABEAU IV Surface de forêt occupée par les zones dédiées aux services écosystémiques autres que la production de bois (forêt d'Ebrach, Bavière)

Protection des sols	3 121,3 ha
Protection des vignes et des cultures contre des événements climatiques dommageables (par exemple gels tardifs, froids intenses)	176,5 ha
Protection de l'eau	5 631,5 ha
Production d'eau potable	241,2 ha
Loisirs	4 228,3 ha
Protection spéciale d'habitats naturels forestiers	170,1 ha

ÉCONOMIE

En moyenne, l'entreprise forestière génère environ 6 millions d'euros par an, dont 95 % (5,7 millions d'euros) proviennent de la vente de bois. Les revenus de la chasse, en particulier des permis de chasse et de la commercialisation de la viande de gibier, et d'autres revenus secondaires ne contribuent qu'à hauteur de 5 % au chiffre d'affaires total. Les coûts annuels de gestion et d'exploitation s'élèvent à environ 5 millions d'euros, dont 56 % (2,8 millions d'euros) correspondent au salaire du personnel de l'entreprise. Environ 30 % du volume de bois exploité annuellement est abattu en régie ; toutes les opérations de débusquage et de transport sont réalisées par des entreprises privées. En moyenne, la gestion des forêts génère un bénéfice d'environ

1 million d'euros par an. Le revenu moyen tiré du bois dans toutes ses formes est d'environ 67 €/m³. Une vue d'ensemble est donnée dans le tableau V (ci-dessous).

TABLEAU V **Aperçu économique synthétique de la forêt d'Ebrach (Bavière)**

Chiffre d'affaires	Ventes de bois	5,7 millions d'euros
	Chasse	0,1 million d'euros
	Autres	0,2 million d'euros
	Total	6,0 millions d'euros
Dépenses	Personnel	2,8 millions d'euros
	Entrepreneurs	1,8 million d'euros
	Matériel	0,4 million d'euros
	Total	5,0 millions d'euros
Bénéfice		1,0 million d'euros

MISE EN PLACE D'UNE GESTION À LA FOIS INTÉGRATIVE ET ADAPTATIVE

L'approche de gestion mise en œuvre à Ebrach peut être décrite comme une approche intégrative dans la mesure où elle s'efforce d'assurer à la fois la conservation de la biodiversité et la production de bois sur l'ensemble de la zone forestière productive (Mergner, 2018 ; Kraus et Krumm, 2013). Étant donné que la plupart des espèces dépendantes des attributs de maturité (très gros arbres, bois morts, dendromicrohabitats) sont devenues menacées, la conservation de la biodiversité dans les peuplements forestiers gérés est principalement une question de maintien des arbres-habitats (Larrieu *et al.*, 2018b, Kraus *et al.*, 2016 ; Bauhus *et al.*, 2009). Une forte hétérogénéité structurale et un approvisionnement en bois morts sont essentiels pour garantir la diversité des espèces forestières (Lassauce *et al.*, 2011 ; Jonsson *et al.*, 2005).

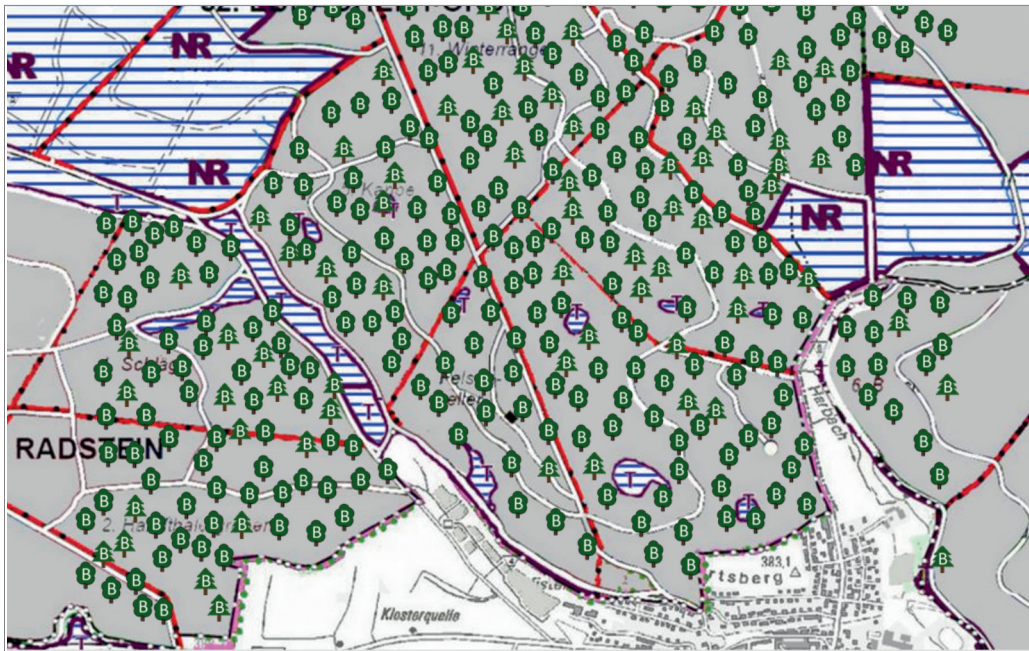
Avec un accent particulier sur les organismes saproxyliques, la conservation de la biodiversité est au cœur du concept de gestion intégrative des forêts d'Ebrach. Environ 500 espèces de coléoptères saproxyliques sont présentes dans la région de Steigerwald, dont beaucoup sont des indicateurs de conditions forestières quasi naturelles (par exemple : *Triplax rufipes*, *Bolitophagus reticulatus*, *Mycetophagus quadripunctatus*, *Sinodendron cylindricum*, *Ampedus nigroflavus*, *Cerambyx scopoli*). La clé de voûte de cette approche est un réseau soigneusement réfléchi de zones de forêt en libre évolution permanente et de zones à impact minimal, interconnectées de manière à relier des habitats dispersés (Mergner, 2018 ; Hanski, 2005 ; MacArthur et Wilson, 1967). Ce principe de gestion est connu sous le nom de réseau de « pas japonais » (*Trittsteinkonzept* en allemand).

Au total, 1 200 ha (représentant 7 % de la surface totale de la forêt) ont été mis en libre évolution permanente, principalement sur la base d'une quantité de bois mort et d'arbres-habitats supérieure à la moyenne (figure 5, p. 43). Ces zones servent à protéger la biodiversité en assurant la survie et la reproduction d'espèces sensibles et très menacées. Au total, six réserves intégrales (allant de 24,9 à 183,4 ha) et plus de 200 îlots de sénescence supplémentaires (souvent des reliques de petite taille, 0,2 à 20 ha, de peuplements sur-matures) sont désignés comme zones sources pour la recolonisation par les espèces, des arbres-habitats (qui représentent à eux seuls une surface en libre évolution correspondant à 4,5 % de la forêt) et du bois mort

conservés dans les peuplements exploités. Les espèces à ressources et à dispersion limitées sont donc ainsi capables de se disséminer et de s'établir temporairement aussi dans les peuplements exploités à partir de ces zones protégées, à condition qu'elles soient réparties de manière régulière sur l'ensemble de la zone forestière (Mergner, 2018 ; Jonsson *et al.*, 2005 ; Lassauce *et al.*, 2011). En outre, les réserves forestières intégrales servent d'observatoire de la dynamique naturelle de la composition dendrologique des peuplements et des ressources d'habitat (dendromicrohabitats, bois morts, ressources florales... ; photo 3, p. 44) tout au long du cycle sylvigénétique. Les assemblages d'espèces trouvés dans ces zones en réserve servent de définition d'objectifs qualitatifs de ce qui devrait être atteint sur l'ensemble de la zone forestière. Les recherches approfondies menées dans ces laboratoires vivants ont ainsi permis d'élaborer les principes de gestion à appliquer à l'ensemble de la zone forestière. Un large éventail d'espèces de différents groupes taxonomiques bénéficient de l'approche intégrative (entre autres le batracien *Salamandra salamandra*, le champignon *Hericium clathroides*, le coléoptère *Rhagium mordax*, la chouette *Aegolius funereus*).

FIGURE 5 **EXTRAIT DE LA CARTE DE LA FORÊT MONTRANT LA STRUCTURATION SPATIALE DU RÉSEAU DE PEUPELEMENTS ET D'ARBRES EN LIBRE ÉVOLUTION PERMANENTE**

NR : réserves intégrales ; T : îlots de sénescence jouant le rôle de « pas japonais » ; B : arbres-habitats (photo Ulrich Mergner)



Un autre élément important de l'approche de l'entreprise est l'impact minimal de la gestion. Cela est principalement réalisé dans les vieux peuplements ou bien dans les jeunes peuplements qui comportent un nombre élevé de vieux arbres restants, ce qui conduit à une accumulation systématique d'arbres-habitats et de bois mort. Actuellement, les activités de gestion forestière à impact minimal concernent 6 400 ha. La sélection positive des arbres-habitats a déjà lieu lors des

premières éclaircies afin de s'assurer qu'il y aura suffisamment d'individus ayant un potentiel pour les dendromicrohabitats dans les stades ultérieurs. La densité d'arbres objectif à désigner est fixée à 40/ha au maximum (pour le Hêtre) afin de laisser de l'espace pour le développement des arbres-habitats. Dans les peuplements qui comportent un mélange d'essences à âges d'exploitabilité différents, il est possible de sélectionner un peu plus d'arbres de place par hectare. Les arbres-habitats sont marqués de façon permanente (ligne d'onde à la peinture verte). Au total, le marquage de 155 000 arbres-habitats (soit 10 arbres/ha) constitue l'objectif de la prochaine période de 10 ans pour l'ensemble de la zone forestière productive.



Photo 3 On trouve environ 160 m³/ha de bois mort (diamètre de précomptage du bois mort 7 cm) dans la réserve forestière intégrale Waldhaus (90,7 ha)

Photo Daniel Kraus

De grandes quantités de bois destinés à se décomposer naturellement sont considérées à Ebrach comme cruciales pour la biodiversité et la durabilité des cycles biogéochimiques (Stokland *et al.*, 2012 ; Müller et Bütler, 2010). Dans les phases terminales d'éclaircie et de récolte, la gestion adoptée à Ebrach exige que les arbres soient abattus en dehors des pistes de débardage afin que les houppiers restent dans le peuplement. En règle générale, le tronc est coupé à la première grosse branche et seule la partie qui a la plus forte valeur commerciale est enlevée (photo 4, p. 45). Cela permet d'atteindre l'objectif d'augmenter la quantité de bois mort à 20 et 40 m³/ha (diamètre de précomptage 7 cm), respectivement dans les peuplements de plus de 100 et 140 ans.

Cependant, la conservation de bois morts n'est pas seulement importante pour la conservation des espèces forestières : de nombreuses publications scientifiques montrent que le bois restant

sur place est crucial pour assurer dans une forêt la durabilité des cycles biogéochimiques (Harmon *et al.*, 1986). Des nutriments comme l'azote, le potassium, le calcium, le phosphore ou encore le magnésium sont stockés dans le bois et peuvent servir d'engrais à long terme puisqu'ils sont libérés en continu par les grosses pièces de bois en décomposition et sont donc à nouveau disponibles pour la nutrition des arbres. En outre, le bois mort stocke de grandes quantités d'eau pendant son processus de décomposition (Blonska *et al.*, 2018) ou participe plus tard au stockage de l'eau dans la forme d'humus en augmentant la quantité de matière organique. Compte tenu du changement climatique en cours et des prévisions de périodes de sécheresse prolongées, cette caractéristique importante du bois mort peut également être considérée dans les mesures visant à assurer l'avenir de nos forêts, en augmentant sensiblement le volume de bois mort à l'hectare. En outre, le bois mort joue probablement un rôle vital dans la composition des sols forestiers et leur fonction de puits de carbone par l'activité microbienne (Harmon *et al.*, 1986), principalement des champignons et des bactéries, ce qui est une autre bonne raison pour laquelle il devrait être abondant dans les forêts.



Photo 4 Après l'abattage de l'arbre, le tronc est coupé à la première grosse branche et seule la partie de l'arbre qui a la plus forte valeur commerciale est débardée. Le houppier entier reste dans le peuplement sans être démembré afin d'augmenter la quantité de bois mort de grande dimension

Photo Ulrich Mergner

Le défi à Ebrach est actuellement de trouver des seuils à partir desquels les fonctions productives peuvent être maintenues et, en même temps, la biodiversité protégée. Pour être évaluée efficacement, la gestion forestière respectueuse de la biodiversité est constamment étudiée à

Ebrach dans le cadre de programmes de recherche (Schauer *et al.*, 2018 ; Zytynska *et al.*, 2018, Doerfler *et al.*, 2017). C'est un exemple d'application pratique à large échelle spatiale du concept de « gestion adaptative », c'est-à-dire l'application systématique d'informations fiables, acquises en utilisant des protocoles de suivi, pour améliorer la gestion au fil du temps (Wilhere, 2000). En particulier, les groupes d'espèces qui sont liés aux perturbations naturelles et aux attributs de maturité sont d'excellents indicateurs du succès de la gestion intégrative menée à Ebrach. Même si nous sommes conscients qu'une espèce ou un groupe taxonomique ne peut à lui seul être un substitut pertinent pour l'ensemble de la biodiversité forestière (voir par exemple Larrieu *et al.*, 2018a), le fait de se concentrer sur quelques taxons faciles à reconnaître et caractéristiques d'écosystèmes forestiers complexes tels que des coléoptères (par exemple *Bolitophagus reticulatus*) ou des champignons (par exemple *Hericium* spp., *Fomes fomentarius*) aide les gestionnaires forestiers et le personnel de terrain à concrétiser leurs efforts et les encourage à poursuivre dans cette voie.

LA GESTION INTÉGRATIVE : À QUEL COÛT ?

Le coût de la gestion intégrative peut être déterminé à partir des recettes réduites et des dépenses supplémentaires. Actuellement, il existe 1 200 ha de forêt en libre évolution permanente et environ 750 ha supplémentaires qui ne sont pas disponibles pour l'exploitation de bois parce qu'ils sont occupés par des arbres-habitats. Cela représente environ 16 500 m³ de bois par an qui ne sont pas récoltés et commercialisés. En supposant un prix moyen du bois de 50 €/m³ pour les zones en libre évolution, on renonce à près de 600 000 € par an. En outre, 25 000 m³ de bois mort abandonnés sur place lors de la récolte du bois représentent 500 000 € supplémentaires (au prix moyen de 20 €/m³). Au total, la réduction des recettes s'élève à 1,1 million d'euros par an (tableau VI, ci-dessous).

TABLEAU VI

Éléments d'appréciation du coût économique brut de la mise en libre évolution de surfaces de forêt dédiées à la conservation d'une diversité d'espèces forestières

		Superficie (ha)	Volume (m ³)	Valeur (euros)
Pertes liées aux surfaces non productives	6 réserves intégrales	430	2 500	125 000
	200 îlots de sénescence	760	4 500	225 000
	10 arbres-habitat/ha (50 m ² chacun)	780	4 600	230 000
		1 970	11 600	580 000
Perte liée aux volumes de bois non commercialisés			25 000	500 000
Effort total en quantité		1 970	36 600	1 080 000

Cependant, la stratégie d'enrichissement en bois mort des peuplements exploités en ne récoltant que du bois de sciage (et dans une moindre mesure du bois d'industrie) et en laissant sur le parterre de la coupe les houppiers complets semble économiquement efficace. En considérant un prix moyen de 90 €/m³ pour le bois de sciage et de 50 €/m³ pour le bois d'industrie ou de

chauffage, il apparaît clairement que le bénéfice total de la transformation complète (c'est-à-dire bois de sciage + bois d'industrie/chauffage) est plus élevé, mais, si on raisonne par m³, il est plus rentable de se concentrer uniquement sur le façonnage du bois de sciage (tableau VII, ci-dessous ; tableau VIII, ci-dessous).

TABLEAU VII Répartition moyenne, en volume, prix du bois et coût d'exploitation des différentes qualités commerciales pour un Hêtre d'un volume total de 6 m³ ; forêt d'Ebrach (Bavière)

Répartition moyenne			Prix du bois et coût d'exploitation	Bois de sciage (en euros)	Bois d'industrie/ chauffage (en euros)
	En m ³	En %			
Volume total	6,0	100	Prix du bois	90,00	50,00
Bois de sciage	1,8	40	Coût du façonnage	15,00	17,30
Bois d'industrie/ chauffage	2,0	30	Coût du débardage	9,00/m ³	18,00/m ³
Rémanents	2,0	30			

TABLEAU VIII Économie comparée du façonnage partiel ou complet d'un hêtre de 6 m³ en forêt d'Ebrach (Bavière)

		Façonnage uniquement du bois de sciage (en euros)	Façonnage du bois de sciage + houppiers complets (en euros)
Revenu		162,00	282,00
	Bois de sciage	216,00	216,00
	Bois d'industrie/chauffage	0,00	120,00
Coût		- 43,00	- 128,00
	Bois de sciage		
	Façonnage	- 27,00	- 27,00
	Débardage	- 16,20	- 16,20
	Bois d'industrie/chauffage		
	Façonnage	- 0,00	- 42,00
Débardage	- 0,00	- 43,20	
Bénéfice			
	Total	119,00	154,00
	par m ³	66,00	37,00

En effet, la performance moyenne d'un bûcheron dans un peuplement de Hêtre adulte est d'environ 3,0 m³/heure lorsqu'il ne façonne que les grumes. Sa performance diminue (2,6 m³/heure) avec l'intensité de la récolte, car le temps nécessaire pour façonner un m³ passe de 20 min/m³ à près de 23 min/m³ lors du façonnage du houppier. Ainsi, il devient évident que la valeur ajoutée est plus élevée lorsqu'un produit de plus grande valeur peut être récolté en moins de temps car le temps de travail consacré au façonnage peut être réduit et même être utilisé pour d'autres tâches.

De plus, une étude récente menée à Ebrach a montré que la valeur économique totale (VET) de tous les services écosystémiques fournis dépasse de loin les revenus liés à la vente de bois (Stössel, 2020). L'étude a utilisé un modèle de transfert de bénéfices et un catalogue de critères (ISO 14008) pour estimer les valeurs monétaires des services écosystémiques, principalement sur la base d'un concept de consentement à payer. La VET a été estimée à Ebrach à environ 1 300 €/ha et comprenait la protection de l'eau (10 %), la protection du climat (17 %) et la biodiversité (41 %) (tableau IX, ci-dessous). Seuls 32 % de la VET peuvent être attribués à la production de bois.

TABLEAU IX **Estimation de la valeur économique totale (VET) pour les différents services écosystémiques fournis par la forêt d'Ebrach (Bavière)**

Services écosystémiques (SE)					
	Production de bois	Protection de l'eau	Protection du climat	Biodiversité	Ensemble des SE
VET (€/ha)	408	132	214	529	1 283
%	32	10	17	41	100
	Bois	Sol / Eau potable	Rétention de l'eau, filtration des nitrates, stockage du carbone, production d'oxygène	Protection et préservation, richesse des espèces, habitats, diversité génétique	

Enfin, en se basant sur la littérature (Tschamtkke *et al.*, 2012 ; Thompson *et al.*, 2009 ; Yachi et Loreau, 1999), nous faisons l'hypothèse que les efforts consentis pour augmenter l'hétérogénéité interne des peuplements leur confèrent une plus grande résistance aux aléas et une plus grande résilience et ainsi minimise la probabilité d'avoir des mortalités massives qui constitueraient des pertes financières d'un autre ordre de grandeur.

LA GESTION INTÉGRATIVE : QUEL BÉNÉFICE POUR LES ESPÈCES FORESTIÈRES ?

Müller (2005) avait constaté la quasi-disparition du Coléoptère mycétophage *Bolitophagus reticulatus*, en raison de la raréfaction de son hôte principal, le champignon lignivore *Fomes fomentarius*. C'était la conséquence directe d'une exploitation systématique des arbres-habitats. Le retour de *Fomes fomentarius* est quantifié par le réseau des placettes permanentes : présent dans 6,4 % des placettes en 2010, il était noté dans 11,5 % en 2016. *Bolitophagus reticulatus* revient dans sa foulée (Zytynska *et al.*, 2018). D'autres espèces de champignons saproxyliques devenus très rares dans les forêts exploitées (par exemple *Hericium* spp.) font aussi un retour progressif. À l'échelle de l'Europe, *Fomes fomentarius* constitue le milieu de vie pour environ 600 espèces d'arthropodes (Friess *et al.*, 2019).

DIFFICULTÉS ET PERSPECTIVES

Il n'a pas été facile de mettre en place cette gestion intégrative. Il a d'abord fallu convaincre les populations locales qu'elle n'était pas désavantageuse. Pendant des siècles, les populations locales ont utilisé les houppiers comme source principale de bois de chauffage et la gestion mise en œuvre conserve les houppiers dans le peuplement. Ce problème a été résolu en affectant une partie du bois d'industrie au bois de chauffage. Les appels des groupes de protection de la nature à créer un parc national dans les forêts domaniales de la région ont certainement contribué à orienter positivement la population locale vers une gestion intégrative, car elle s'est sentie menacée dans l'organisation de sa vie courante par un possible développement de restrictions imposées par un puissant instrument de conservation.

Il a également fallu convaincre les forestiers eux-mêmes. Les tarifs des bûcherons à la tâche ont été révisés pour tenir compte de la variation de performance quand on ne débite pas les houppiers, et ainsi leur garantir le même niveau de rémunération. De nouveaux protocoles de sécurité au travail ont été définis car le niveau de risque augmente lorsque l'on travaille dans un environnement où la présence de bois mort est accrue. En 2005, la plupart des gestionnaires forestiers appliquaient à Ebrach les principes de la sylviculture « proche de la nature », où, malgré l'appellation, il est pratique courante de supprimer systématiquement les arbres portant des « défauts » leur conférant une qualité commerciale médiocre (c'est-à-dire des grosses branches, une fourche, une cavité, un sporophore de champignon lignivore). Ils ont dû apprendre que les arbres malformés ou porteurs de singularités méritaient d'être conservés comme des éléments précieux pour le peuplement. Comme la sylviculture proche de la nature était profondément ancrée dans la région depuis les années 1970, il a fallu également convaincre les forestiers des massifs voisins, les autorités forestières et leurs superviseurs. Sur le terrain, il a été néanmoins assez facile de réaliser ce changement, et la sélection d'un nombre relativement faible d'arbres d'élite a été acceptée immédiatement par le personnel technique. La collaboration avec des scientifiques a permis de montrer l'efficacité de la nouvelle approche sylvicole en documentant la rapidité avec laquelle la diversité des espèces augmentait dans des peuplements autrefois relativement pauvres.

Les craintes que l'approche intégrative modifie drastiquement la situation économique ne se sont pas confirmées, car de nombreuses mesures écologiquement positives sont raisonnables sur le plan économique. De surcroît, un façonnage plus rapide et des coûts de débusage plus faibles car seules les grumes sont débardées, ou encore des coûts réduits d'entretien des peuplements par l'abandon de l'élimination systématique des arbres à singularités, contribuent à minimiser l'effort économique.

L'avenir n'est toutefois pas assuré. Un des principes de base de l'approche utilisée à Ebrach est de laisser de grandes quantités de bois se décomposer pour favoriser la biodiversité et la fonctionnalité de l'écosystème forestier. Il existe un certain risque que l'accroissement de la demande en ressources ligneuses remette en cause cette approche. Cette demande est actuellement partiellement satisfaite par les importations de bois, mais elle pourrait encore augmenter par la recherche d'un taux plus élevé de substitution à des combustibles fossiles et de restrictions croissantes de l'exploitation intensive des forêts à l'échelle mondiale. Il n'est pas encore clair dans quelle mesure le changement climatique influencera la gestion. Il y aura probablement une augmentation de la quantité de bois mort par mortalité induite par des épisodes de sécheresse, ce qui serait positif pour les cortèges saproxyliques. Cependant, il existe un risque qu'une mortalité accrue entraîne des réactions excessives de la part des forestiers qui tendront alors à récolter plus précocement les arbres dépérissants, à réduire la diversité dendrologique en ne gardant qu'un petit nombre d'essences objectif, et à diminuer le diamètre d'exploitabilité. Les arbres ont de multiples stratégies d'adaptation aux changements de l'environnement et l'amplitude

génétique des populations est la base de cette adaptation. Outre l'intérêt pour la biodiversité, la conservation d'arbres de faible valeur commerciale joue également un rôle clé dans ce contexte en augmentant la variabilité génétique de la population.

CONCLUSION

L'entreprise forestière d'État d'Ebrach peut servir d'exemple de bonne pratique de gestion intégrative des forêts, où la conservation de la biodiversité, la production de bois et de nombreux autres services écosystémiques sont gérés de manière concomitante. Du point de vue de la conservation des espèces, il nous semble plus important d'assurer une connectivité des îlots et arbres en libre évolution plutôt que d'être simplement guidé par une surface totale à protéger, même si nous sommes conscients qu'une proportion minimale de zones forestières mises en libre évolution permanente est nécessaire pour assurer une conservation efficace (voir par exemple Bouget et Parmain, 2016). Par conséquent, les exigences en matière d'habitat et les seuils minimum de ressources nécessaires aux espèces cibles caractéristiques de communautés forestières intègres doivent être pris en compte pour construire ce réseau de conservation. Il convient également de tenir compte de l'état actuel des peuplements et des traitements appliqués car une diversité de systèmes et de stratégies sylvicoles dans l'ensemble du paysage est nécessaire pour accroître la diversité des structures, des fonctions et de l'ensemble des organismes vivant dans ces forêts. Au final, il convient de soutenir un large éventail d'autres services écosystémiques que la production de bois.

Compte tenu de la pression croissante sur les ressources forestières en Europe en raison de l'augmentation de la demande de bois, il est essentiel de veiller à ce que la qualité et l'efficacité de la conservation de la biodiversité ne soient pas minimisées par les nouveaux objectifs de gestion forestière. L'approche intégrative appliquée à Ebrach s'efforce de concilier de manière optimale les deux objectifs de production et de préservation.

Ulrich MERGNER– Daniel KRAUS
BAYERISCHE STAATSFORSTEN
Forstbetrieb Ebrach
Marktplatz 2
D-96157 EBRACH, ALLEMAGNE
(ulrich.mergner@baysf.de) (daniel.kraus@baysf.de)

Laurent LARRIEU
CNPF-CRPF Occitanie, Antenne de Tarbes
F-65000 Tarbes
(laurent.larrieu@cnpf.fr)
et
Université de Toulouse, INRAE, UMR DYNAFOR
Chemin des Bordes rouges
BP 52327
F-31326 CASTANET-TOLOSAN CEDEX
(laurent.larrieu@inrae.fr)

Remerciements

Merci à Sylvie Ladet (INRAE) pour la réalisation de la carte de la figure 1, et à Céline Emberger (CNPF) et les deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires et propositions qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUHUS J., PUETTMMANN K., MESSIER C., 2009. Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management*, 258(4), pp. 525-537.
- BLONSKA E., KLAMERUS-IWAN A., LAGAN S., LASOTA J., 2018. Changes to the water repellency and storage of different species of deadwood based on decomposition rate in a temperate climate. *Ecohydrology*, 11:e2023.
- BOLLMANN K., 2011. Naturnaher Waldbau und Förderung der biologischen Vielfalt im Wald. Forum für Wissen, pp. 27-36.
- BOSE A.K., MOSER B., RIGLING A., LEHMANN M.M., MILCU A., PETER M., RELLSTAB C., WOHLGEMUTH T., GESSLER, A., 2020. Memory of environmental conditions across generations affects the acclimation potential of scots pine. *Plant Cell and Environment*, 43(5), pp. 1288-1299.
- BOUGET C., PARMAIN G., 2016. Effects of landscape design of forest reserves on Saproxylic beetle diversity. *Conservation Biology*, 30, pp. 92-102.
- BÜTLER R., LACHAT T., LARRIEU L., PAILLET Y., 2013. Habitat trees: key elements for forest biodiversity. (Chap 2.1, pp. 84-92). In: Kraus D., Krumm F. (eds) 2013. *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*. European Forest Institute. 284 p.
- DOERFLER I., MÜLLER J., GOSSNER M., HOFNER B., WEISSER W., 2017. Success of a deadwood enrichment strategy in production forests depends on stand type and management intensity. *Forest Ecology and Management*, 400, pp. 607-620.
- FRIESS N., MÜLLER J., ABREGO N., ARAMENDI P., BÄSSLER C., BOUGET C., BRIN A., BUSSLER H., GEORGIEV K., GIL R., GOSSNER M., HEILMANN-CLAUSEN J., ISAACSON G., KRISTIN A., LACHAT T., LARRIEU L., LOS S., MAGNANOU E., MARINGER A., MERGNER U., MIKOLAS M., OPGENOORTH L., SCHMIDL J., SVOBODA M., THORN S., VREZEC A., VANDERKHOVE K., WINTER B., WAGNER T., ZAPPONI L., BRANDL R., SEIBOLD S., 2019. Arthropod communities in fungal fruitbodies are weakly structured by climate and biogeography across European beech forests. *Diversity and Distributions*, 25, pp. 783-796.
- GOSSNER M.M., LACHAT T., BRUNET J., ISACSSON G., BOUGET C., BRUSTEL H., BRANDL R., WEISSER W.W., MÜLLER J., 2013. Current Near-to-Nature Forest Management Effects on Functional Trait Composition of Saproxylic Beetles in Beech Forests. *Conservation Biology*, online.
- HANLON V.C., OTTO S.P., AITKEN S.N., 2019. Somatic mutations substantially increase the per generation mutation rate in the conifer *Picea sitchensis*. *Evolution letters*, 3(4), pp. 348-358.
- HANSKI I., 2005. *The Shrinking World: Ecological consequences of habitat loss*. Oldendorf/Luhe: International Ecology Institute.
- 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., CUMMINS K.W., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 15.
- HUBERT M., 1983. *Amélioration des taillis par balivage intensif*. Paris : Institut pour le développement forestier. 117 p.
- JONSSON B.G., KRUYIS N., RANIUS T., 2005. Ecology of species living on dead wood - lessons for dead wood management. *Silva Fennica*, 39, pp. 289-309.
- KRAUS D., KRUMM F. (eds), 2013. *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*. European Forest Institute. 284 p.
- KRAUS D., BÜTLER R., KRUMM F., LACHAT T., LARRIEU L., MERGNER U., PAILLET Y., RYDKVIST T., SCHUCK A., WINTER S., 2016. Catalogue of tree microhabitats – Reference field list. Integrate+ Technical Paper 13. 16 p.
- LARRIEU L., GOSSELIN F., ARCHAUX F., CHEVALIER R., CORRIOL G., DAUFFY-RICHARD E., DECONCHAT M., GOSSELIN M., LADET S., SAVOIE J.-M., TILLON L., BOUGET C., 2018a. Cost-efficiency of cross-taxon surrogates in temperate forests. *Ecological Indicators*, 87, pp. 56-65.
- LARRIEU L., PAILLET Y., WINTER S., BÜTLER R., KRAUS D., KRUMM F., LACHAT T., MICHEL A., REGNER Y. B., VANDEKERKHOVE K., 2018b. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators*, 84, pp. 194-207.
- LASSAUCE A., PAILLET Y., JACTEL H., BOUGET C., 2011. Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: Meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecological Indicators*, 11, pp. 1027-1039.
- MACARTHUR R.H., WILSON E.O., 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton, N.Y.: Princeton University Press (édition 2001, 224 p.).
- MERGNER U., 2016. *Das Ebracher Konzept gegen das Verheizen der Artenvielfalt*. Vortrag beim FORUM Suisse Romande, Lausanne. [En ligne] disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=omsRC6hRgRQ>.

- MERGNER U., 2018. *Das Trittsteinkonzept: Naturschutz-integrative Waldbewirtschaftung schützt die Vielfalt der Waldarten*. Euerbergverlag. 138 p.
- MERGNER U., 2015. *Habitatstrukturen in den ABC-Grad-Durchforstungsversuchen*. Vortrag beim wissenschaftlichen Symposium 23./24.4.2015 in Handthal. [Online] : http://www.baysf.de/fileadmin/user_upload/01-ueberuns/05_standorte/FB_Ebrach/150424_Mergner_ABC-Grad_nach_Habitatstrukturen.pdf.
- MERGNER U., 2014. Small is beautiful. *AFZ-Der Wald*, (3), pp. 7-9.
- MERGNER U., 2016. Vom ANW-Beispielforstamt zum Naturschutz-integrativen Forst-betrieb in Ebrach. *Dauerwald* Heft Nr. 53, Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft (ANW).
- MERGNER U., BUSSLER H., 2007. Der Buchenprotz - Elitebaum für die Artenvielfalt des Waldes. *AFZ-Der Wald*, (4).
- MESSIER C., PUETTMANN K.J., COATES K.D. (ed.), 2013. *Managing forests as complex adaptive systems. Building resilience to the challenge of global change*. London & New York : Routledge. 353 p. (The earthscan forest library).
- MÜLLER J., 2005. *Waldstrukturen als Steuergröße für Artengemeinschaften in kollinen bis submontanen Buchenwäldern*. TU München. 235 p. (PhD thesis).
- MÜLLER J., BUSSLER H., BENSE U., BRUSTEL H., FLECHTNER G., FOWLES A., KAHLEN M., MÖLLER G., MÜHLE H., SCHMIDL J., ZABRANSKY P., 2005. Urwald relict species – Saproxyllic beetles indicating structural qualities and habitat tradition. *Waldökologie*, online 2, pp. 106-113.
- MÜLLER J., BÜTLER R., 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research*, 129, pp. 981-992.
- SCHAUER B., STEINBAUER M.J., VAILSHERY L.S., MÜLLER J., FELDHAAR H., OBERMAIER E., 2018. Influence of tree hollow characteristics on saproxyllic beetle diversity in a managed forest. *Biodiversity and Conservation*, 27(4), pp. 853-869.
- STOKLAND J.N., SIITONEN J., JONSSON B.G. (eds.), 2012. *Biodiversity in Dead Wood*. Cambridge University Press. 524 p. (Ecology, Biodiversity and Conservation).
- THOMPSON I., MACKAY B., MCNULTY S., MOSSELER A., 2009. *Forest resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Montréal : Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Technical series n° 43, 67 p.
- TSCHARNTKE T., CLOUGH Y., WANGER T.C., JACKSON L., MOTZKE I., PERFECTO I., VANDERMEER J., WHITBREAD A., 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151, pp. 53-59.
- WILHERE G.F., 2002. Adaptive management in habitat conservation plans. *Conservation Biology*, 16(1), pp. 20-29.
- YACHI S., LOREAU M. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(4), pp. 1463-1468.
- ZYTYNSKA S.E., DOERFLER I., GOSSNER M.M., STURM S., WEISSER W.W., MÜLLER J., 2018. Minimal effects on genetic structuring of a fungus-dwelling saproxyllic beetle after recolonisation of a restored forest. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), pp. 2933-2943.

GÉRER UNE FORÊT COMMERCIALE SELON UNE APPROCHE INTÉGRATIVE : RÊVE OU RÉALITÉ ? LE CAS DE LA FORÊT DE STEIGERWALD (BAVIÈRE, ALLEMAGNE) [Résumé]

Cet article constitue un retour d'expérience de gestion à la fois intégrative et adaptative, menée depuis 2005 sur les 17 000 hectares d'une forêt de l'État de Bavière. L'entreprise forestière d'État Ebrach gère une forêt domaniale dominée par le Hêtre, dans la région du Steigerwald. Tout en générant environ un million d'euros de bénéfice annuel, sa gestion a pour objectif d'optimiser un large panel de services écosystémiques et d'accroître significativement la capacité d'accueil pour la biodiversité forestière, en particulier les espèces saproxyliques. Après une présentation générale de la forêt et de son histoire, les concepts qui régissent sa gestion sont présentés. Une analyse économique détaillée permet également de quantifier le coût de ce type de gestion. Nous espérons que cet article inspirera les forestiers français soucieux d'améliorer la durabilité de leur gestion.

CAN A COMMERCIAL FOREST REALISTICALLY BE MANAGED THROUGH AN INTEGRATIVE APPROACH? THE CASE OF THE STEIGERWALD FOREST (BAVARIA, GERMANY) [Abstract]

This article provides feedback on the experience of both integrative and adaptive management, carried out since 2005 on the 17,000 ha of a state forest in Bavaria. The State Forest Enterprise Ebrach manages a state forest dominated by beech in the Steigerwald region. In addition to about one million euros in annual profits, its management aims to optimize a wide range of ecosystem services and also to significantly increase the hosting capacity for forest biodiversity, particularly saproxylic species. After a general presentation of the forest and its history, the concepts governing its management are presented. Then, a detailed economic analysis quantifies the cost of this type of management. We hope that this article will inspire French foresters concerned about improving the sustainability of their management.



Licence Creative Commons

Attribution + Pas de Modification + Pas d'Utilisation Commerciale (BY ND NC)