

Évolution du bois mort dans les forêts de Montricher

Marc-André SILVA¹, Fabian DROLLINGER², Eric MORARD³ & Rita BÜTLER⁴

SILVA M.-A., DROLLINGER F., MORARD E. & BÜTLER R., 2021. Évolution du bois mort dans les forêts de Montricher. *Mémoire de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 29 : 47-61.

Résumé

Depuis 2001, le Canton de Vaud a instauré des réserves forestières naturelles pour favoriser le maintien et le développement de boisements riches en bois mort et des espèces associées. Dans ces réserves, les quantités de bois mort augmentent en partant d'une forêt exploitée vers une future forêt à caractère plus naturel. L'objectif de cet article est d'analyser où se situent les réserves forestières de Montricher (canton de Vaud) sur cette trajectoire. On constate que le volume de bois mort dans les réserves naturelles progresse lentement. On peut certes voir quelques différences entre les volumes de bois mort et l'évolution de ceux-ci dans les réserves et au sein des forêts témoins, mais une vingtaine d'années ne suffisent pas pour permettre aux forêts, souvent intensivement exploitées par le passé, de retrouver un caractère de forêts plus naturelles. Les réserves forestières naturelles de Montricher ne se situent qu'au début de la trajectoire d'évolution entre une forêt exploitée et une forêt naturelle. Ce constat se confirme en analysant l'évolution des stades de décomposition du bois mort et le volume moyen de bois mort à l'hectare, la cible de 30-40 m³/ha dans les forêts mixtes de montagne est tout juste atteinte dans les réserves, alors que les zones témoins se situent encore en-dessous. La mise en place du projet des réserves forestières de Montricher a donc permis de faire en sorte que le volume de bois mort augmente petit à petit et celui-ci devrait encore progresser, en tous cas, dans les réserves forestières naturelles de manière plus rapide. Les processus forestiers évoluent lentement et des relevés tous les 10 ans semblent un bon laps de temps pour apprécier cette évolution. Il est cependant important de continuer ces relevés dans les années à venir pour pouvoir tirer un bilan avant une discussion avec les propriétaires pour reconduire des contrats de réserve en 2050.

Mots-clés : réserve forestière naturelle, bois mort, stade de décomposition du bois, Jura vaudois, Vaud, Suisse.

INTRODUCTION

Le bois mort remplit de multiples fonctions structurelles et fonctionnelles dans l'écosystème forestier (HARMON *et al.* 1986), en particulier pour la biodiversité en forêt (BÜTLER & SCHLAEPFER, 2004). Depuis 2003, il figure parmi les indicateurs de biodiversité pour le développement durable des forêts au niveau pan-européen. Par conséquent, la majorité des inventaires forestiers en Europe, tant au niveau national que régional, mesurent la quantité et parfois la qualité de bois mort. Généralement, la quantité de bois mort dans les forêts exploitées est nettement plus faible que dans les forêts naturelles (STOKLAND *et al.* 2012) avec des

¹ Inspecteur des forêts du 15^e arrondissement, Direction Générale de l'Environnement de l'État de Vaud, Riond-Bosson 1, 1110 Morges, marc-andre.silva@vd.ch

² Ingénieur forestier, Rue du village 4, 1121 Bremblens, fdrollinger@gmail.com

³ répondant du suivi scientifique au sein de BEB SA, Chemin des Dents-du-Midi 46, 1860 Aigle, info.beb@bluewin.ch

⁴ Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL et Laboratoire PERL, École polytechnique fédérale de Lausanne. WSL Site de Lausanne c/o EPFL, Case postale 96, 1015 Lausanne, rita.buetler@epfl.ch

conséquences néfastes pour la plupart des groupes taxonomiques, à l'exception des plantes vasculaires et des oiseaux (PAILLET *et al.* 2010). Depuis 2001, le Canton de Vaud met en place des réserves forestières naturelles pour favoriser le maintien et le développement de boisements riches en bois mort et des espèces associées. Dans ces réserves, les quantités de bois mort augmentent sur une trajectoire à long terme partant d'une forêt exploitée vers une future forêt à caractère plus naturel. L'objectif de cet article est d'analyser où se situent les réserves forestières de Montricher (canton de Vaud) sur cette trajectoire (figure 1).

Suite à la signature des contrats de réserves forestières de Montricher en 2001, des relevés du volume de bois mort ont été effectués en 2007 et 2017 en complément aux relevés dendrométriques standards d'une placette par hectare de forêt, réalisé à intervalles réguliers, tous les 10 ans (HUCK & MORATTEL 2003). L'objectif est d'évaluer l'effet de la mise en réserve forestière naturelle, c'est-à-dire l'absence d'interventions sylvicoles durant au moins 50 ans, sur différents paramètres forestiers et notamment sur le bois mort.

Cet article présente une première analyse, sur la base des données relevées en 2007 et 2017, afin de constater si la mise en réserve naturelle produit les effets escomptés : à quelle vitesse et quelles sont les différences avec les forêts voisines qui restent exploitées ?

MÉTHODE

Mise en place des placettes

Le dispositif prévoit deux séries de placettes : des placettes dans les réserves naturelles et des placettes témoins en dehors des réserves (forêts exploitées). Dans les réserves forestières naturelles, une placette permanente par hectare a été matérialisée sur le terrain avec un piquet en bois (épicéa), une sardine en métal et des inscriptions à la peinture sur les 3 arbres environnants indiquant la direction du centre de la placette. L'objectif des placettes permanentes est notamment de suivre individuellement l'évolution du volume de bois mort sur pied et au sol dans les petites réserves forestières couvertes par un nombre limité de placettes dendrométriques. Hors des réserves, des placettes témoins ont été définies, afin de comparer l'évolution du bois mort entre les zones sans intervention (réserves forestières naturelles) et les forêts exploitées. Ces placettes témoins non permanentes sont les mêmes que celles de l'inventaire dendrométrique standard effectué à l'échelle du canton de Vaud (HUCK & MORATTEL 2003).

En 2017, quelques placettes permanentes n'ont pas pu être retrouvées. Celles-ci ont donc été rematérialisées sur le terrain. Tous les piquets ont été remplacés par des piquets en chêne peints en jaune. En effet, il a été constaté que la durée de vie de petits piquets en épicéa est limitée, ce qui explique en partie que certaines placettes n'aient pas été retrouvées.

Suite à la création en 2016 d'îlots de sénescence au Pré de l'Haut-Dessus et dans la forêt cantonale du Devens, des placettes permanentes supplémentaires ont été définies dans les îlots de sénescence et des placettes témoins non permanentes dans leurs abords immédiats. Le même principe s'est également appliqué pour le nouveau secteur de réserve forestière naturelle de 5,69 ha défini en 2016 au Sud de la Combe de la Verrière.

Au final, le jeu de données disponibles pour des comparaisons est le suivant (figure 2) :

- En 2007, 357 placettes ont fait l'objet de relevés liés au bois mort par un seul opérateur : 107 placettes (permanentes) dans les réserves forestières naturelles et 250 placettes (non permanentes) dans les zones témoins.



Figure 1. Peuplement dans les réserves de Montricher (photo : Fabian Drollinger).

- En 2017, 355 placettes ont fait l'objet de relevés liés au bois mort par un seul opérateur (différent de celui de 2007) : 114 placettes (permanentes) dans les réserves forestières naturelles et 241 placettes (non permanentes) dans les zones témoins.

Paramètres relevés sur les placettes en lien avec le bois mort

Afin d'évaluer le bois mort (quantité, qualité), différents paramètres ont été relevés autant pour le bois sur pied qu'au sol :

Bois mort sur pied

- Nombre d'arbres morts avec un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) > 30 cm sur un rayon de 20 m à 24 m en 2007 (le rayon choisi correspond au double du rayon de l'inventaire dendrométrique qui dépend de la pente et du stade de développement) et de 22 m en 2017 (par mesure de simplification, seul un rayon a été retenu).
- Nombre d'arbres morts avec un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) entre 10 et 30 cm sur un rayon de 10 m à 13 m en 2007 et de 11 m en 2017.

Les paramètres complémentaires des placettes « bois mort » et de chaque arbre mort individuel ont été saisis directement sur une tablette, dans une base de données Access développée pour ce projet et comprenant les éléments suivants :

- n° de placette ;
- coordonnées géographiques du centre de la placette ;
- rayon de la placette (m) ;

- hauteur (m) si > 0,8 m, mesure de la distance à l'arbre et 2 angles en degré pour calculer la hauteur en 2007 et mesure directe de la hauteur en 2017 ;
- diamètre à hauteur de poitrine > 10 cm (DHP en cm) ;
- type: résineux, feuillu, indéterminé ;
- essence arborée: sapin, épicéa, pin, hêtre, sorbier, érable, autre ;
- stade de décomposition: bois frais (en sève), bois mort (pas de sève, dur), bois mort (moins dur), bois mort (mou), bois mort (très mou ou poudreux).

Bois mort au sol

Trois transects de 10 m ont été parcourus en 2007 et en 2017 (0 gr, 133 gr et 267 gr sur un total de 400 gr). Tous les arbres et parties d'arbres morts avec un diamètre > 7 cm à l'intersection avec le transect. Les paramètres suivants ont été saisis dans la base de données Access:

- n° placette ;
- rayon (m) ;
- type: arbre ou souche ;
- essence: résineux, feuillu, indéterminé ;
- diamètre (cm) ;
- stade de décomposition: bois frais (en sève), bois mort (pas de sève, dur), bois mort (moins dur), bois mort (mou), bois mort (très mou ou poudreux) ;
- nombre de tas de branche avec longueur (m) et hauteur (m) par transect.

Calculs des volumes de bois mort

Pour le bois mort sur pied, le volume a été calculé selon la formule tirée de BÜTLER (2003) :

$$V/ha = \sum(\text{aire basale} * \text{hauteur} * \text{index de forme}) * \text{facteur}$$

aire basale: $\pi * (d/2)^2$ (diamètre en mètre) ;

hauteur: [m] ;

index de forme: facteur correctif situé entre 0,55 et 0,75. Valeur utilisée = 0,5 (conservateur) ;

facteur de report à l'hectare selon la surface de la placette (par exemple si R = 11 m,

Vol/ha = V * 26,306602).

Pour le bois mort au sol, le volume a été calculé selon la formule inspirée de BÖHL & BRÄNDLI (2007) :

$$V/ha = \pi^2 / 8L * \sum di^2 * 1/h$$

L: longueur du transect = 10 m ;

di: diamètre intersecté en cm ;

h: nombre de transect par placette = 3.

Lors du traitement des données du bois mort au sol, uniquement les arbres et parties d'arbres morts ont été évalués.

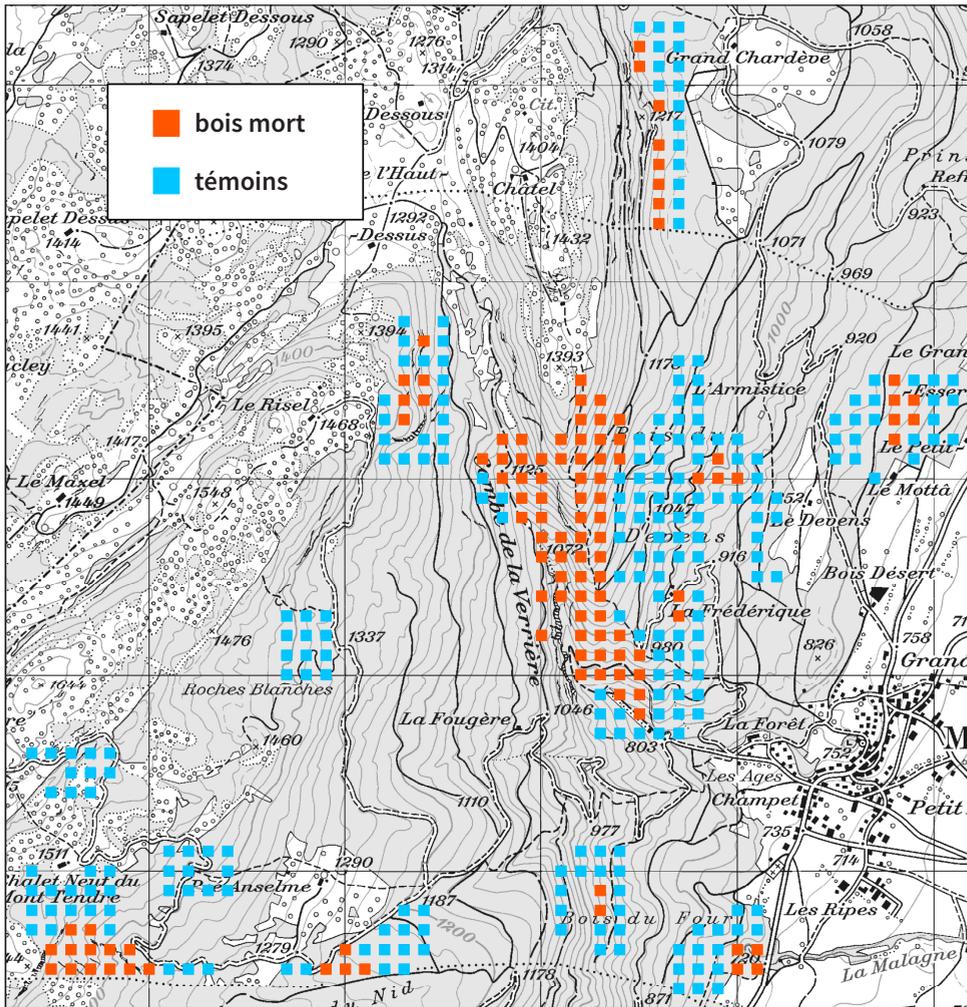


Figure 2. Carte des placettes complémentaires à l'inventaire dendrométrique 2017 (Source: Office fédéral de topographie).

Tests statistiques

L'évolution temporelle des quantités de bois mort dans les réserves de Montricher a été étudiée statistiquement au moyen du test Wilcoxon-Mann-Whitney (comparaison de moyennes pour des données non-paramétriques) sur les données relevées en 2007 et 2017.

Les moyennes de quantité de bois mort suivantes, en 2007 et en 2017, ont été comparées :

- quantité de bois mort dans les réserves (totale, sur pied et au sol) ;
- quantité de bois mort dans les placettes témoins (hors réserves) (totale, sur pied et au sol) ;
- quantité de bois mort dans la réserve de la combe de la Verrière (totale, sur pied et au sol).

Les autres réserves sont trop petites et ne disposent pas de suffisamment d'échantillons pour une analyse statistique à l'échelle de la réserve.

La comparaison des quantités de bois mort entre les placettes situées à l'intérieur ou à l'extérieur des réserves a également été réalisée au moyen du test Wilcoxon-Mann-Whitney (comparaison de moyennes pour des données non-paramétriques) pour 2007 et 2017.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les tests statistiques réalisés mettent en évidence des différences significatives entre les moyennes de quantité de bois mort pour les comparaisons suivantes :

- au sein des réserves, le volume de bois mort au sol est plus élevé en 2017 qu'en 2007 (p-value = 0,009). Il n'y a pas de différences pour les autres catégories (bois mort sur pied ou total) ;
- hors des réserves, le volume de bois mort au sol est également plus élevé en 2017 qu'en 2007 (p-value < 0,005) et le volume total de bois mort suit la même tendance (p-value < 0,005). Il n'y a pas de différences au niveau du bois mort sur pied ;
- en 2007, en dehors du bois mort au sol présent en quantité équivalente, un volume plus important de bois mort était présent dans les réserves que hors des réserves (p-values < 0,005) ;
- en 2017, un volume plus important de bois mort était présent dans les réserves que hors des réserves pour le bois mort sur pied (p-value < 0,05 pour DHP > 30 cm / p-value = 0,006 pour DHP < 30 cm) ou au sol (p-value = 0,01), mais la différence n'est plus significative pour le volume total de bois mort.

Évolution du volume de bois mort sur pied, au sol et total

En moyenne, déjà en 2007, le volume de bois mort était plus important dans les réserves naturelles ($24,2 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 34,3$, moyenne avec écart-type) que dans les placettes témoins ($13,9 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 25,4$) sauf pour le volume de bois mort au sol qui était présent en quantité équivalente dans les deux types de placettes (tableau 1). Il est à préciser que, logiquement, des secteurs plus riches en bois mort sur pied que les forêts voisines avaient été choisis pour la mise en place des réserves. De plus, les pratiques sylvicoles dans la région laissent depuis plusieurs années un certain volume de bois en forêt pour des raisons économiques et écologiques. En 2017, le volume de bois mort a augmenté dans les réserves naturelles ($30,4 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 43,6$; augmentation de $+6,2 \text{ m}^3/\text{ha}$ depuis 2007) et dans les placettes témoins ($24,9 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 30,9$; augmentation de $+11,0 \text{ m}^3/\text{ha}$ depuis 2007), surtout pour le bois mort au sol. Statistiquement, même si, en moyenne, le volume de bois mort sur pied (figure 3) ou au sol reste significativement plus élevé dans les réserves que dans les placettes témoins, cette différence ne l'est plus pour le volume total de bois mort.

On constate dans les réserves forestières naturelles une diminution de plus de 28 % du volume des gros bois morts sur pied (> 30 cm) (figure 4), statistiquement non significative, entraînant une baisse du volume de bois mort sur pied de plus de 30 % (de $15,0 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 27,0$ à $10,1 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 14,6$). Une explication de cette diminution est certainement qu'une partie du bois mort sur pied est tombé au sol. En effet, il y a une forte augmentation du volume de bois mort au sol (> 7 cm) de plus de 120 % (de $9,1 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 17,9$ à $20,3 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 39,7$).

Dans les réserves, le volume des petits bois morts sur pied (< 30 cm) montre une tendance à la baisse, mais qui n'est pas significative au niveau statistique. On peut émettre

Tableau 1. Volumes de bois mort sur pied et au sol pour les différents îlots et réserves forestières naturelles avec l'indication du nombre de placettes « bois mort » par objet. Écart-types entre parenthèses. Les parties grisées correspondent aux inventaires effectués en 2017 uniquement.

Zone de réserve / année de relevé et nombre de placettes	Volume de bois mort (BM) sur pied > 30 cm [m ³ /ha]	Volume BM sur pied < 30 cm [m ³ /ha]	Total Volume BM sur pied [m ³ /ha]	Volume BM au sol > 7 cm [m ³ /ha]	Total Volume BM [m ³ /ha]
Le Devens 2017 (4 pl.)	0,0 (± 0,0)	0,3 (± 0,6)	0,3 (± 0,6)	4,4 (± 5,2)	4,7 (± 4,9)
Bois de la Dame 2017 (6 pl.)	13,4 (± 16,6)	0,4 (± 1,0)	13,8 (± 16,2)	35,0 (± 43,5)	48,8 (± 49,7)
Bois du Four 2007 (4 pl.)	1,3 (± 2,5)	1,0 (± 2,0)	2,3 (± 4,5)	0,0 (± 0,0)	2,3 (± 4,5)
Bois du Four 2017 (2 pl.)	2,0 (± 2,8)	10,0 (± 14,2)	12,0 (± 17,0)	12,2 (± 17,3)	24,2 (± 34,3)
Combe Verrière 2007 (80 pl.)	11,7 (± 25,1)	3,9 (± 7,3)	15,6 (± 28,7)	11,4 (± 20,6)	26,9 (± 37,8)
Combe Verrière 2017 (65 pl.)	7,3 (± 14,7)	2,2 (± 4,7)	9,5 (± 15,3)	20,9 (± 38,2)	30,4 (± 42,3)
Côte de Châtel 2007 (9 pl.)	0,3 (± 0,8)	8,4 (± 15,7)	8,7 (± 15,7)	6,8 (± 10,3)	15,5 (± 17,1)
Côte de Châtel 2017 (8 pl.)	0,0 (± 0,0)	2,3 (± 2,7)	2,3 (± 2,7)	27,3 (± 31,3)	29,6 (± 30,2)
Creux du nid 2007 (4 pl.)	17,1 (± 34,2)	4,8 (± 6,1)	21,9 (± 39,5)	0,0 (± 0,0)	21,9 (± 39,5)
Creux du nid 2017 (4 pl.)	9,6 (± 15,9)	0,7 (± 0,8)	10,3 (± 15,4)	6,3 (± 12,5)	16,5 (± 27,9)
La Frédérique 2007 (2 pl.)	0,0 (± 0,0)	14,1 (± 19,9)	14,1 (± 19,9)	28,1 (± 39,8)	42,2 (± 59,7)
La Frédérique 2017 (2 pl.)	1,3 (± 1,8)	4,2 (± 5,9)	5,5 (± 4,1)	4,0 (± 5,7)	9,5 (± 9,8)
Le Motta 2007 (6 pl.)	25,2 (± 44,8)	2,0 (± 4,9)	27,2 (± 43,8)	1,8 (± 2,8)	29,0 (± 45,5)
Le Motta 2017 (6 pl.)	14,3 (± 19,9)	0,2 (± 0,6)	14,5 (± 19,8)	9,9 (± 24,2)	24,4 (± 42,6)
Sources Malagne 2007 (4 pl.)	5,7 (± 8,0)	11,2 (± 13,8)	16,9 (± 13,9)	4,1 (± 8,2)	21,0 (± 16,1)
Sources Malagne 2017 (4 pl.)	16,0 (± 16,1)	6,3 (± 12,1)	22,2 (± 12,4)	15,7 (± 13,6)	37,9 (± 25,0)
Roche Perrause 2007 (13 pl.)	12,4 (± 20,4)	0,1 (± 0,4)	12,6 (± 20,6)	7,1 (± 12,7)	19,7 (± 24,6)
Roche Perrause 2017 (13 pl.)	11,7 (± 12,3)	2,1 (± 6,2)	13,8 (± 14,3)	25,8 (± 69,8)	39,6 (± 70,1)
Réserves 2007 (107 pl.)	11,0 (± 24,2)	4,1 (± 8,4)	15,0 (± 27,0)	9,1 (± 17,9)	24,2 (± 34,3)
Réserves 2017 (114 pl.)	7,9 (± 14,1)	2,2 (± 5,0)	10,1 (± 14,6)	20,3 (± 39,7)	30,4 (± 43,6)
Plac. témoins 2007 (250 pl.)	3,0 (± 12,0)	1,1 (± 3,8)	4,1 (± 12,8)	9,8 (± 21,5)	13,9 (± 25,4)
Plac. témoins 2017 (241 pl.)	2,4 (± 7,5)	1,3 (± 3,9)	3,6 (± 8,7)	21,3 (± 27,6)	24,9 (± 30,9)

l'hypothèse que la fermeture des peuplements sans exploitation ne permet pas aux tiges de petits diamètres de se développer et d'accéder à la strate supérieure. Cette élimination naturelle des tiges est caractéristique de la phase de compétition intensive entre les arbres pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs : auto-éclaircie (en anglais : « self-thinning » ou « stem exclusion »). Sur les cinq phases de développement d'un peuplement selon Rossi & VALLAURI (2013) (« régénération », « croissance », « maturation », « vieillissement » et « écroulement ») les forêts de Montricher n'ont atteint que la troisième phase et peuvent donc être caractérisées par un faible degré de maturité en termes écologiques. Un apport important de gros bois mort suite à différentes perturbations (maladie, insectes, tempête etc.), voire par une mortalité naturelle due à l'âge des arbres, est attendu bien plus tard, c'est-à-dire dans les deux dernières phases de développement (BOBIEC *et al.* 2005), qui peuvent durer plusieurs siècles dans une forêt naturelle.

Entre 2007 et 2017, on observe dans les réserves forestières naturelles une hausse du volume de bois mort total d'environ un quart (de $24,2 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 34,3$ à $30,4 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 43,6$; tendance toutefois non significative). Les volumes observés se situent à la limite inférieure de la fourchette de valeurs seuil préconisées pour le maintien de la majorité des espèces liées au bois mort dans les forêts mixtes de montagne ($30\text{-}40 \text{ m}^3/\text{ha}$ selon MÜLLER & BÜTLER 2010).

En comparaison avec six autres réserves forestières naturelles en Suisse, qui ont en moyenne $69 \text{ m}^3/\text{ha}$ de bois mort, voire avec des forêts primaires comportant environ 100 à $200 \text{ m}^3/\text{ha}$ de bois mort (HERRMANN *et al.* 2012), les volumes observés paraissent relativement faibles. Cependant, les portions de forêts en réserve forestière naturelle de Montricher sont exemptes d'interventions depuis 20 ans, alors que dans les réserves étudiées par Herrmann, la dernière intervention date d'il y a 40 et 92 ans. On constate donc que l'augmentation des volumes de bois mort dans des réserves jurassiennes relativement jeunes du point de vue écologique est lente. Cette observation correspond bien aux données reportées par l'Inventaire forestier national (IFN) où un apport de bois mort par la mortalité naturelle de $0,9$ à $2,1 \text{ m}^3/\text{ha}$ par an était mesurée dans les forêts du Jura (BRASSEL & BRÄNDLI 1999). Compte tenu du taux de décomposition du bois, BÜTLER *et al.* (2005) estiment la progression en bois mort dans le Jura à environ $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 10 ans. Comparé aux autres régions biogéographiques de Suisse, c'est dans le Jura que le temps nécessaire pour atteindre des volumes conséquents en bois mort semble être le plus long (BÜTLER *et al.* 2005), beaucoup plus long par exemple que sur le Plateau, où une mortalité naturelle de $3,4$ à $7,0 \text{ m}^3/\text{ha}$ par an était reporté par l'INF (BRASSEL & BRÄNDLI 1999). Une explication pourrait être la production moyenne relativement limitée des stations jurassiennes, due notamment au climat et à la durée de la période de végétation. Les forêts jurassiennes sont également moins impactées par les attaques parasitaires, notamment le bostryche sur l'épicéa, que les forêts du Plateau.

L'augmentation du bois mort dans les réserves forestières s'inscrit également dans une augmentation logique des volumes sur pied des arbres vivants qui passent de $425 \text{ m}^3/\text{ha}$ à $494 \text{ m}^3/\text{ha}$, soit $+16 \%$ (données tirées des plans de gestion et provenant des inventaires dendrométriques). On peut donc s'attendre à ce que l'apport en bois mort s'accélère quelque peu dans les 10 ans qui viennent.

La même tendance d'augmentation des volumes de bois mort total ressort également des relevés effectués dans les placettes témoins (de $13,9 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 25,4$ à $24,9 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 30,9$; la tendance est ici significative; moyenne avec écart-type). Parmi les explications possibles, on peut citer un volume d'exploitation moindre des forêts du triage par rapport à la capacité de



Figure 3. Bois mort sur pied dans les forêts de Montricher (photo: Marc-André Silva).

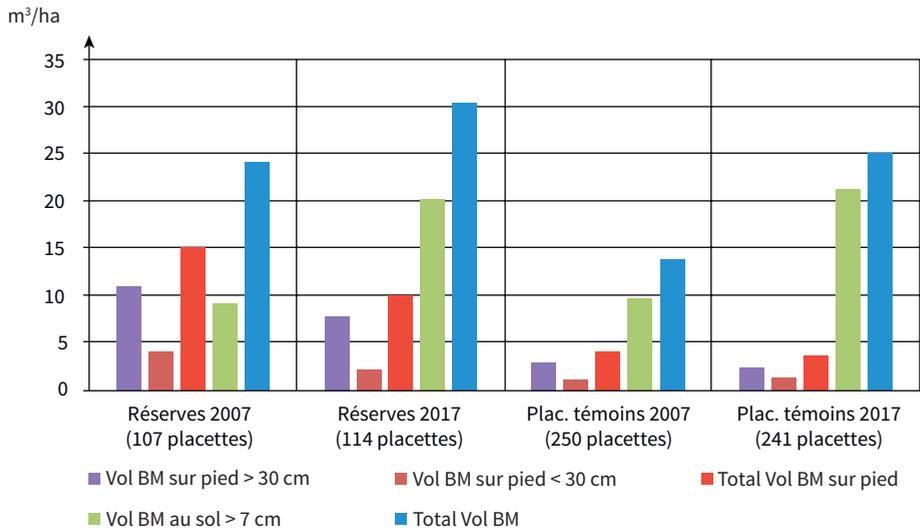


Figure 4. Évolution du bois mort sur pied et au sol (m³/ha) entre 2007 et 2017, ainsi qu'entre les zones en réserve et témoins.

production étant donné un marché des bois morose et un changement dans la gestion sylvicole courante qui prend plus en compte le bois mort depuis quelques années.

Les forêts témoins n'atteignent en moyenne pas encore les seuils de 30-40 m³/ha recommandés en termes de maintien des espèces saproxyliques en forêt mixte de montagne (MÜLLER & BÜTLER, 2010). En termes de quantités de bois mort, elles se situent assez proches des forêts exploitées de Suisse, bien que l'évolution indique une progression lente vers des forêts plus naturelles. Dans une comparaison entre la forêt exploitée et 24 réserves forestières naturelles en Suisse, dont la dernière exploitation remonte à plus de 20 ans, HEIRI *et al.* (2012) ont également constaté que ces réserves ne se différencient pas encore beaucoup des forêts exploitées en termes de bois mort. L'évolution vers une forêt naturelle prend beaucoup de temps.

Essences les plus représentées dans les volumes de bois mort sur pied

L'épicéa est l'essence principale du bois mort sur pied, suivie du sapin blanc, du hêtre, des autres essences (pin, sorbiers, divers) et de l'érable (tableau 2). Seules les placettes témoins en 2007 ont un ordre d'importance différent avec par ordre décroissant le sapin blanc, l'épicéa, l'érable, le hêtre et les autres essences.

Les proportions sont relativement proches entre les placettes de bois mort 2007 et 2017, contrairement aux placettes témoins, avec des proportions très différentes pour le sapin blanc (51 % à 17 %) et l'épicéa (40 % à 73 %). Une explication pourrait être que les premières placettes sont permanentes et sans exploitation, alors que les secondes ne sont pas fixées et sujettes à des exploitations.

Pour la biodiversité et les espèces saproxyliques, il est souhaitable d'avoir des proportions similaires entre les bois morts et les bois vivants pour chaque espèce. Si l'on compare les proportions de volumes par essence entre le bois mort et le bois vivant inventorié dans les réserves dans le cadre des inventaires dendrométriques, on constate le même ordre d'importance.

Tableau 2. Pourcentage du volume de bois mort sur pied par essence en 2007 et en 2017 dans les zones en réserve et témoins.

	Épicéa [%]	Sapin [%]	Hêtre [%]	Érable [%]	Autres essences [%]
Bois mort dans les réserves 2007	73	16	3	3	5
Bois mort dans les réserves 2017	76	16	5	1	3
Bois mort dans les zones témoins 2007	40	51	4	4	2
Bois mort dans les zones témoins 2017	73	17	6	0	4

L'épicéa a cependant une proportion de bois mort nettement plus importante que la proportion d'épicéas vivants (43 % du volume de bois vivant dans les zones en réserve en 2017), alors que le bois mort de sapin, de hêtre et d'érable ont une proportion de bois mort moindre par rapport au bois vivant (respectivement 26 %; 18 % et 8 %). Un élément pour expliquer ces différences pourrait être les conditions météorologiques et les attaques parasitaires, notamment les attaques de bostryches typographes.

Profil de décomposition du bois mort sur pied et au sol

Selon STOKLAND (2001), le profil de bois mort permet de décrire la continuité de l'apport de bois mort. Il livre des informations sur la dynamique du bois mort dans une forêt et sert d'indicateur de biodiversité. Une forêt naturelle est caractérisée par un apport continu de bois mort dans toutes les classes de diamètres. Cela signifie qu'on n'observe guère de « trous » (cf. tableaux 3 et 4), ni de classes fortement surreprésentées. Les tableaux 3 et 4 sont une version fortement simplifiée du profil de bois mort selon STOKLAND (2001), qui peut néanmoins servir à interpréter les observations faites dans les forêts de Montricher.

Dans les réserves naturelles, le stade de décomposition s'est accru pour les résineux entre 2007 et 2017, passant de 19 à 53 % pour le bois moins dur et de 17 à 27 % pour le bois mou. Le bois mort dans son ensemble est en train d'évoluer vers des stades de décomposition plus avancés. Il est frappant de constater que pratiquement aucun apport de bois mort frais n'a eu lieu, ni dans les réserves, ni dans les placettes témoins. Ce faible apport de bois mort frais peut avoir plusieurs explications. Premièrement, selon notre constat ci-dessus, les forêts se trouvent dans le stade de maturation, où l'auto-éclaircie est encore en cours, on s'attend donc plutôt

Tableau 3. Pourcentage des volumes de bois mort sur pied et au sol résineux (Rés) et feuillus (Feu) selon le stade de décomposition.

	Réserves 2007		Réserves 2017		Témoins 2007		Témoins 2017	
	Rés	Feu	Rés	Feu	Rés	Feu	Rés	Feu
Frais	0	0	0	0	0	0	1	2
Dur	61	6	18	11	55	43	25	26
Moins dur	19	43	53	39	17	31	40	47
Mou	17	42	27	50	22	21	33	24
Très mou	3	9	2	0	6	6	2	0



Figure 5. Bois mort en décomposition dans les forêts de Montricher (photo : Fabian Drollinger).

à un apport de bois mort de faible diamètre qui se décompose rapidement. Deuxièmement, les stades initiaux de décomposition (frais et dur) durent moins longtemps que les stades plus avancés (moins dur, mou et très mou). Il est donc possible qu'une certaine mortalité ait eu lieu, mais n'est pas visible dans la catégorie « frais » à cause d'un temps de séjour très bref (1 à 2 ans).

Finalement, les feuillus sont généralement à un stade de décomposition plus avancé que les résineux, excepté dans les placettes témoins en 2017 (tableau 3). Le hêtre se décompose naturellement souvent plus vite que l'épicéa (HERRMANN *et al.* 2015), ce qui peut expliquer en partie cette observation.

Toutes ces observations correspondent à l'évolution attendue. Elles confirment le fait que les forêts en réserve ne sont pas comparables à des forêts naturelles dans lesquelles les profils

Tableau 4. Pourcentage des volumes de bois mort sur pied et au sol selon le degré de décomposition. Données pour Uholka-Shyroky Luh tirées de COMMARMOT *et al.* (2013) et données pour la forêt suisse tirée de ABEGG *et al.* (2014).

	Réserves 2007	Réserves 2017	Témoins 2007	Témoins 2017	Uholka-Shyroky Luh	Forêt suisse
Frais	0,0	0,0	0,0	0,8	9,3	0,9
Dur	45,6	15,5	52,3	24,4	27,2	49,8
Moins dur	26,4	47,5	20,0	40,4	19,8	28,7
Mou	23,6	33,0	21,5	32,0	26,5	18,0
Très mou	4,4	4,0	6,2	2,4	16,7	2,5

de bois mort sont davantage équilibrés grâce à un apport continu de bois mort. Pour exemple on citera les forêts primaires de Uholka-Shyroki Luh en Ukraine (tableau 4 avant-dernière colonne, selon COMMARMOT *et al.* 2013). Les forêts suisses dans leur ensemble montrent également un profil de bois mort déséquilibré (tableau 4 dernière colonne, selon ABEGG *et al.* 2014). Il faut compter plusieurs dizaines, voire centaines d'années pour que des forêts tempérées exploitées retrouvent un profil de bois mort symétrique.

Proportion des placettes atteignant le seuil de 30 m³/ha de bois mort

Dans une revue de littérature, MÜLLER & BÜTLER (2010) ont synthétisé les valeurs seuil de bois mort nécessaires aux espèces saproxyliques des forêts en Europe. Pour les forêts mixtes de montagne, 30-40 m³/ha semblent être nécessaires pour la plupart des espèces, sauf pour les espèces exigeantes, dont certaines ont besoin de plus de 100 m³/ha.

En 2017, 32 % des placettes dans les réserves ont atteint le seuil 30 m³/ha, soit une valeur stable par rapport à la proportion relevée en 2007 (31 %) (figure 6). Dans les placettes témoins, cette proportion est en progression avec +12 %.

Si l'on analyse la proportion de placettes avec un volume supérieur à 100 m³/ha (figure 7), on constate que ce chiffre s'élève à 8,8 % dans les réserves et 2,9 % dans les placettes témoins. Les gros volumes de bois mort à l'hectare (>100 m³/ha) sont trois fois plus fréquents dans les réserves que dans les forêts exploitées. Cela veut dire que les espèces saproxyliques exigeantes ont plus de chance de trouver un habitat adéquat dans les réserves qu'en dehors, bien que cet habitat soit encore faiblement représenté.

CONCLUSION

On constate que le volume de bois mort est supérieur dans les réserves forestières naturelles par rapport aux placettes témoins, ce qui s'explique principalement par le choix des périmètres des réserves forestières naturelles définis en 2001, qui a privilégié les zones avec des structures plus matures et un volume de bois mort proportionnellement plus élevé.

L'évolution des volumes de bois mort dans les réserves naturelles progresse lentement, telle qu'observé ailleurs en Suisse (p. ex. HEIRI *et al.* 2012). Dans un laps de temps de 10 ans (périodicité des inventaires), on peut voir quelques différences entre l'évolution dans les réserves et au sein des forêts témoins. Cependant, une vingtaine d'années depuis la création des réserves forestières ne suffisent pas pour permettre aux forêts, souvent intensivement exploitées par le passé, de retrouver un caractère de forêts naturelles. Les réserves forestières naturelles de Montricher ne se situent qu'au début de la trajectoire d'évolution entre une forêt exploitée et une forêt naturelle.

Concernant l'évolution du bois mort, on constate une augmentation de la décomposition à la fois dans les réserves forestières et dans les zones témoins (figure 8), même si dans les forêts exploitées, cette proportion est légèrement moindre.

Comparé à une forêt primaire, le profil de bois mort déséquilibré qui est observé à Montricher permet de montrer les conséquences de la gestion du passé, en particulier par l'absence d'un apport régulier de bois mort. Il confirme le constat que les forêts ne sont pas encore matures du point de vue écologique, mais se trouvent encore dans la phase de développement dite d'auto-éclaircie (« self-thinning »), caractérisée par un faible apport de bois mort de grandes dimensions.

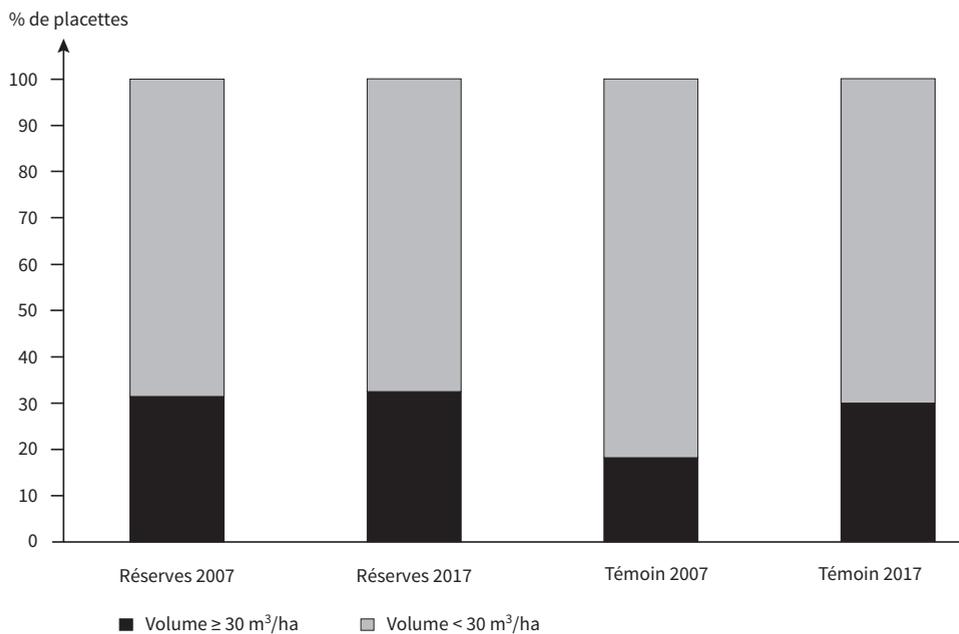


Figure 6. Proportion de placettes avec un volume de bois mort total supérieur à 30 m³/ha entre 2007 et 2017, ainsi qu'entre les zones en réserve et témoins.

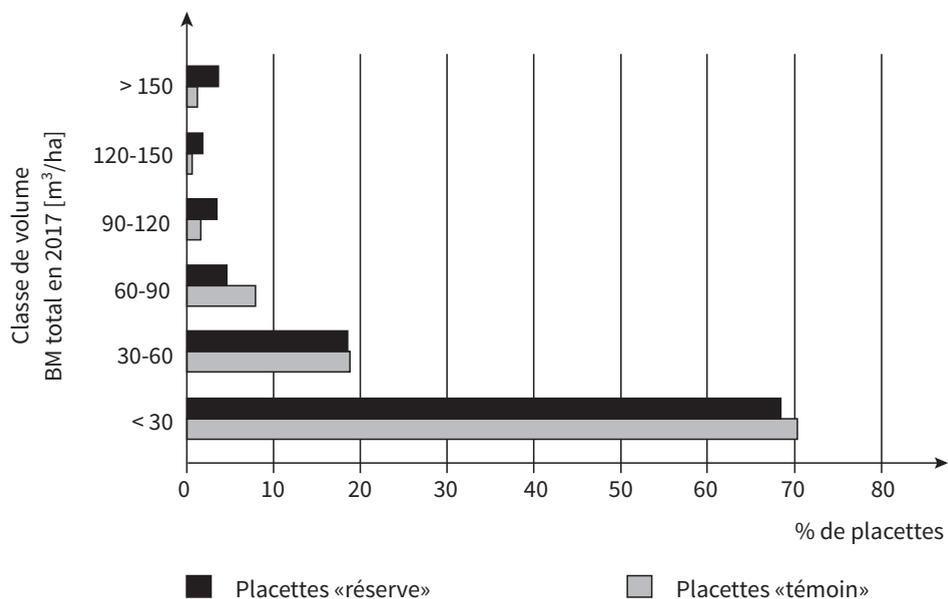


Figure 7. Pourcentage de placettes par classes de volume de bois mort total 2017 dans les zones en réserve et témoins.

Le nombre de placettes avec un volume de bois mort supérieur à 30 m³/ha est stable dans les réserves, mais en augmentation dans les placettes témoins. Si l'on regarde le volume moyen de bois mort à l'hectare, la cible de 30-40 m³/ha (minimum écologique) est tout juste atteinte dans les réserves, alors que les zones témoins se situent encore en-dessous. La mise en place du projet des réserves forestières de Montricher a donc permis de faire en sorte que le volume de bois mort augmente petit à petit et celui-ci devrait encore progresser, en tous cas, dans les réserves forestières naturelles de manière plus rapide. Les processus forestiers évoluent lentement et des relevés tous les 10 ans semblent un bon laps de temps pour apprécier cette évolution. Il est cependant important de continuer ces relevés dans les années à venir pour pouvoir tirer un bilan avant une discussion avec les propriétaires pour reconduire des contrats de réserves en 2050.

BIBLIOGRAPHIE

- ABEGG M., BRÄNDLI U.-B., CIOLDI F., FISCHER C., HEROLD-BONARDI A., HUBER M., KELLER M., MEILE R., RÖSLER E., SPEICH S., TRAUB B. & VIDONDO, B., 2014. Inventaire forestier national suisse - Tableau no 148914: volume du bois mort. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL. <https://doi.org/10.21258/1168870>
- BOBIEC A., GUTOWSKI J.M., LAUDENSLAYER W.F., PAWLACZYK P. & ZUB K., 2005. The afterlife of a tree. Edited by A. Bobiec. WWF Poland, Warszawa.
- BÖHL J. & BRÄNDLI U.-B., 2007. Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. *European Journal of Forest Research* 126: 449-457.
- BRASSEL P. & BRÄNDLI U.-B. (Eds), 1999. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995 Haupt, Bern.
- BÜTLER R., 2003. Dead Wood in Managed Forests: How much and how much is enough? Thèse No. 2761, EPF Lausanne.
- BÜTLER R. & SCHLAEPFER R. 2004. Wieviel Totholz braucht der Wald? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 155 (2): 31-37.
- BÜTLER R., LACHAT T. & SCHLAEPFER R., 2005. Alt- und Totholzstrategie für die Schweiz: wissenschaftliche Grundlagen und Vorschlag. Laboratoire de Gestion des écosystèmes, EPFL. Sur mandat de l'OFEV. 100 p.
- COMMARMOT B., BRÄNDLI U.-B., HAMOR F. & LAVNY V. (eds), 2013. Inventory of the Largest Primeval Beech Forest in Europe. A Swiss-Ukrainian Scientific Adventure. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL; Lviv, Ukrainian National Forestry University; Rakhiv, Carpathian Biosphere Reserve. 69 pp.
- HARMON M., 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: 133-302.
- HERRMANN S., CONDER M., BRANG P., 2012. Totholzvolumen und -qualität in ausgewählten Schweizer Naturwaldreservaten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 163(6): 222-231.
- HERRMANN S., KAHL T. & BAUHUS J., 2015. Decomposition dynamics of coarse woody debris of three important central European tree species, *For. Ecosyst.* 27(2): 1-14.
- HEIRI C., BRÄNDLI U.B., BUGMANN H. & BRANG P., 2012. Sind Naturwaldreservate naturnäher als der Schweizer Wald? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 163(6): 210-221.
- HUCK J.-F. & MORATTEL, D., 2003. Description des peuplements forestiers. In: NEET C., GOELDIN DE TIEFENAU P. & DELARZE R., (Éds), Projet-pilote de gestion écologique des forêts de Montricher (Jura vaudois, Suisse). *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 20(2): 113-133.
- LARRIERU L., PAILLET Y., WINTER S., BÜTLER R., KRAUS D., KRUMM F., LACHAT T., MICHEL A.K., REGNER Y. & VANDERKERKHOVE K., 2018. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators* 84: 194-207.
- 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: 981-992.



Figure 8. Bois mort au sol dans les forêts de Montricher (photo: Marc-André Silva).

- PAILLET Y., BERGÈS L., HJÄLTÉN J. *et al.*, 2010. Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology* 24: 101–112.
- ROSSI M. & VALLAURI D., 2013. Évaluer la naturalité. Guide pratique, version 1.2. WWF, Marseille, 154 pages.
- STOKLAND J., 2001. The coarse woody debris profile: an archive of recent forest history and an important biodiversity indicator. *Ecological Bulletins* 49: 71-83.
- STOKLAND J., SIITONEN J. & JONSSON B. G., 2012. Biodiversity in dead wood. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.