

# Entre valorisation, conservation et dépérissement : la gestion de nos chênaies à la croisée des chemins

Laurence Delahaye<sup>1</sup> | Hugues Claessens<sup>2</sup> | Julie Losseau<sup>3</sup> | Sophie Cordier<sup>2</sup>

Marc Herman<sup>1</sup> | Jonathan Lisein<sup>2</sup> | Anne Chandelier<sup>4</sup> | Caroline Vincke<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Observatoire wallon de la Santé des Forêts (SPW-DGO3-DEMNA)

<sup>2</sup> Unité de Gestion des Ressources forestières (ULg-GxABT)

<sup>3</sup> Earth & Life Institute, Environmental Sciences (UCL)

<sup>4</sup> Biologie des Nuisibles et Biovigilance (CRA-W)

L'Observatoire wallon de la Santé des Forêts constate des phénomènes de dépérissement de chêne de plus en plus fréquents. Avec ses partenaires scientifiques, l'Observatoire propose des clefs de compréhension du phénomène et quelques pistes pour une gestion raisonnée des chênaies atteintes.

## RÉSUMÉ

Une crise sanitaire touche les peuplements de chêne, essentiellement ardennais. Des phénomènes de dépérissement sont observés de plus en plus souvent depuis 2010 pour atteindre aujourd'hui des proportions inquiétantes. En Ardenne, en 2014, près de 40 % des chênes pédonculés étaient affectés par le dépérissement. Les dépérissements sont provoqués par un ensemble de stress biotiques ou abiotiques, simultanés ou séquentiels. La sylviculture joue probablement également un rôle (inadéquation avec la station, surface terrière trop élevée...). Mais même s'il y a crise, il n'y a pas urgence. Aucune contamination vers des arbres sains n'est observée. Aucune dégradation significa-

tive du bois n'est observée au cours du dépérissement ni même jusqu'à 3 ou 4 ans après la mort de l'arbre. L'exploitation rapide et désordonnée des arbres morts n'est pas indispensable, d'autant qu'elle pourrait provoquer plus de dégâts que le dépérissement lui-même. Les interventions se feront en fonction des enjeux et des objectifs du plan d'aménagement, et selon le taux d'arbres touchés. Le dépérissement des chênes touche largement des arbres qui n'étaient pas en station. Toute information est à relayer auprès de l'OWSF ou de ses partenaires scientifiques afin d'avancer vers la compréhension du phénomène et la meilleure manière de le gérer.



**La** forêt wallonne est manifestement face à une crise sanitaire qui touche les peuplements de chênes, essentiellement ardennais. Cet article fait le point sur la situation et les causes possibles de ce dépérissement et propose ensuite des recommandations de gestion des chênaies touchées par des dépérissements et mortalités.

En effet, il importe de gérer la situation sans mettre en péril l'avenir de nos chênaies. Cette nouvelle crise sanitaire ne doit pas faire oublier au forestier que toute action de sa part a des conséquences sur les peuplements et les sols forestiers. Vouloir exploiter trop vite, en raison, par exemple, d'une valorisation des bois dans un marché actuellement porteur, peut amplifier le phénomène de dépérissement. Les effets collatéraux de la gestion de la crise du hêtre sur nos peuplements forestiers (tassements de sols, déstabilisation des arbres restants...) restent en mémoire de nombreux forestiers. Comme le conseille le manuel de gestion des forêts en crise sanitaire<sup>17</sup>, il faut donc éviter de céder à la panique. Face aux demandes diverses et pressantes qui caractérisent les situations de crise sanitaire, il s'agit de prendre le temps d'analyser la situation sereinement et globalement.

## Les dépérissements de chêne

Les phénomènes de dépérissements de chênes en Europe ne sont pas nouveaux. Les chênes ont montré des signes de perte de vitalité lors de nombreuses périodes, plus ou moins longues, depuis le 18<sup>e</sup> siècle<sup>15,32</sup>. Dans certains cas, des causes précises ont été identifiées, dans d'autres pas.

Cependant, depuis la fin des années '70, les dépérissements se succèdent à une fréquence de plus en plus importante, aussi bien en Europe<sup>38</sup> qu'en Amérique du Nord<sup>2</sup>. Ils témoignent de changements profonds au niveau des risques tant abiotiques que biotiques, que l'on peut sans doute mettre en relation avec les changements globaux (changement climatique, pollution de l'air...<sup>39</sup>). Les crises se succèdent mais nos chênes indigènes sont toujours là. Il est donc primordial de transposer nos observations à l'échelle de temps de la vie d'un chêne et de prendre du recul, avec humilité, pour agir de manière adéquate. Qui plus est, à l'heure où de nombreuses autres essences montrent aussi des faiblesses, comme le hêtre, le douglas ou le frêne, il serait risqué d'abandonner trop vite le chêne, dont les atouts en matière de qualité du bois, d'essence d'accompagnement ou de capacité d'accueil pour la biodiversité ne sont plus à démontrer<sup>1</sup>.

Depuis 2013, les premiers signes d'une nouvelle crise sanitaire sont évidents : des houppiers très dégarnis en été et l'apparition de branches mortes précèdent

l'observation des premières mortalités. Les recensements de l'OWSF et du DNF montrent que, localement, les dégâts sont très présents et provoquent des mortalités importantes, comme dans les régions de Spa, La Roche, Libin et Beauraing. Les volumes de bois concernés sont indéniablement importants. Cette étape essentielle d'évaluation et de quantification des surfaces et volumes touchés par la crise sanitaire est encore en cours.

Une analyse des données de l'inventaire forestier wallon (IPRFW) a été menée pour évaluer globalement l'évolution de la situation à l'échelle de la Wallonie. Bien que les données disponibles ne courent que jusqu'à la mi-2015, l'analyse révèle le début d'un épisode critique de dépérissement (figure 1). Alors qu'en moyenne, depuis les années '90, les cas de chênes dépérissants ne concernent que quelques pourcents de la population, au cours des années 2010, le taux de chênes atteints augmente d'année en année, pour atteindre en 2014 des niveaux très inquiétants, tant en quantité de chênes concernés qu'en intensité de dépérissement. L'IPRFW montre aussi très clairement que le phénomène est surtout ardennais et qu'il touche beaucoup plus fortement le chêne pédonculé. En Ardenne, en 2014, près de 40 % des chênes pédonculés sont affectés par le dépérissement, dont la moitié sont dans un état de dépérissement marqué ou morts.

Cela converge avec les résultats des recensements en cours effectués par l'OWSF et le DNF, qui montrent quant à eux que le phénomène prend encore de l'ampleur depuis 2013<sup>35</sup>.

En parallèle à cet état des lieux, l'OWSF et le comité de pilotage de l'Accord-Cadre de Recherche et Vulgarisation Forestières ont commandé une étude, menée par l'UCL\*, portant sur les causes du dépérissement des chênes pédonculés en Wallonie au travers d'une analyse dendroécologique. Il s'agit de comprendre la genèse de la crise actuelle pour une meilleure gestion anticipative à moyen et long terme. Il est encore prématuré d'en tirer des conclusions.

## Identifier les causes pour intervenir efficacement

### Une spirale de déclin ?

Il peut se dérouler de nombreuses années (voir des décennies dans le cas des chênes), entre le moment où un arbre manifeste un début de perte de vitalité physiologique, le moment où il est diagnostiqué dépérissant (par des symptômes visibles de défoliation par exemple) et le moment où sa mort est actée. Cette

\* Prof. C. Vincke et Ir. J. Losseau (julie.losseau@uclouvain.be).

progressivité est une des particularités des dépérissements en chênaies<sup>3, 18</sup>.

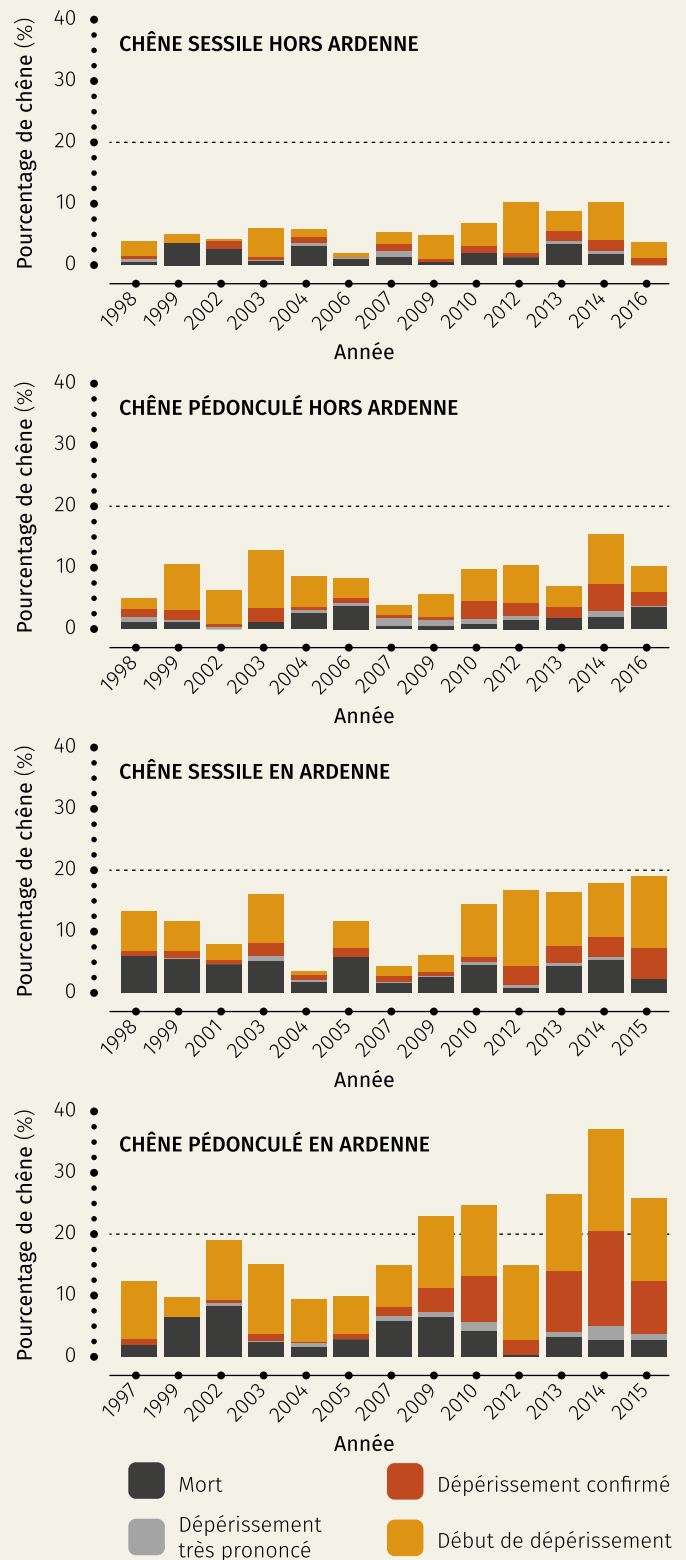
Les mécanismes qui sous-tendent le dépérissement et la mortalité forestière sont communément synthétisés par l'hypothèse du « déclin lent »<sup>26</sup>, plus connu sous la représentation de la *spirale de Manion*. Cette théorie postule que les arbres subissent une cascade en trois stades les menant à la mort. Au cours de ces trois stades, différents facteurs entrent en ligne de compte.

Tout commence par un ou plusieurs stress agissant à long terme de façon continue (facteurs prédisposant ou facteurs de vulnérabilité) sur les peuplements. Il s'agit de facteurs propres à chaque individu (génétiques par exemple) ou liés au site où ils sont installés, ou associés à des pratiques sylvicoles inadéquates. Ce sont, par exemple, dans le cas des chênes : l'altitude, un climat inadapté, une densité de peuplement trop élevée, des retards ou excès d'éclaircies, une origine de taillis-sous-futaie, un âge trop avancé ou des sols à déficit hydrique marqué<sup>18</sup>. Ils sont suivis par un ou plusieurs stress plus sévères et ponctuels (facteurs incitants) déclencheurs du déclin sanitaire de l'arbre. Il s'agit par exemple, toujours dans le cas du chêne, d'extrêmes climatiques comme des sécheresses printanières et estivales, des gelées tardives, et des insectes défoliateurs ou champignons. Sur des sujets préalablement affaiblis, des facteurs secondaires interviennent (facteurs aggravants), donnant le coup de grâce. Ce sont des agents biotiques opportunistes comme l'agrile ou les armillaires, qui agissent souvent comme agents de mortalité<sup>18</sup>.

Ce n'est donc pas une seule cause ou un seul organisme vivant qui provoque la mortalité d'un chêne dans les cas de dépérissements (au contraire des maladies). Généralement plusieurs stress de plusieurs origines, simultanés ou séquentiels, impactent de façon répétée la vitalité d'un arbre, induisant des réductions de croissance et une mort plus ou moins rapide<sup>26, 27, 41</sup>. Si des années stressantes se succèdent, l'arbre s'affaiblit progressivement. L'histoire de l'arbre est donc un facteur important dans les dépérissements, puisqu'il garde en mémoire les stress passés via des altérations de son système conducteur, une diminution des réserves carbonées et des modifications de sa stratégie d'allocation du carbone (entre réparation des tissus endommagés, entretien, croissance et défense). Bien sûr, des arbres soumis à des stress prédisposant et incitant, peuvent, selon leur vigueur résiduelle et si les conditions sont favorables pendant quelques années, entrer dans une phase de récupération.

Aujourd'hui, malgré une connaissance des types de facteurs impliqués, il nous manque encore une compréhension solide des liens temporels et des interac-

**Figure 1.** Évolution du taux de chênes dépérissants depuis 1997 selon l'espèce (sessile ou pédonculé) et la région biogéographique (Ardenne ou hors Ardenne). La crise sanitaire est particulièrement marquée pour le chênes pédonculés en Ardenne, pour lesquels des dépérissements de plus de 20 % des tiges sont observés en 2014. D'après les données de l'IPRFW.



Une campagne de mesures correspond à 10 % de l'ensemble des points d'observation de l'inventaire, ce dixième étant réparti systématiquement sur tout le territoire de la Wallonie et parcouru en un peu plus d'une année. L'entière d'une campagne de mesures chevauche dès lors deux années. L'année indiquée pour une campagne de mesures est celle durant laquelle la majorité de ses points a été visitée



tions entre les événements abiotiques et les agressions biotiques du chêne.

Nous présentons ci-dessous certains de ces facteurs de stress en termes de risque pour nos chênes indigènes.

### Les risques abiotiques

Les risques abiotiques incluent les stress climatiques, les stress atmosphériques et biogéochimiques, et les stress relatifs aux propriétés de la station. Le déficit hydrique est le facteur abiotique le plus souvent cité comme prédisposant les dépérissements de chênes pédonculés ; sa fréquence et son intensité sont en augmentation. En effet, les changements climatiques induisent une augmentation de la variabilité du climat d'une année à l'autre<sup>19</sup>. A l'avenir, la saison de végétation serait marquée par une alternance de phases de sécheresse (et de vagues de chaleur) avec des phases d'excès d'humidité (pluies intenses induisant des risques de sols saturés en eau), ayant aussi des conséquences sur la disponibilité des ressources nutritionnelles<sup>22</sup>. Les hivers seraient par ailleurs plus humides. L'eau disponible dans les sols forestiers sera donc soumise à des fluctuations très importantes.

En outre, la probabilité d'événements climatiques extrêmes est en hausse, en particulier les sécheresses. La vague de chaleur doublée d'une sécheresse exceptionnelle qui s'est déroulée en été 2003, mais aussi au printemps 2011, et lors de l'année chaude et sèche de 2015 en sont quelques exemples récents. Les arbres sont donc soumis de plus en plus fréquemment soit à des déficits de précipitation multi-annuels (1989-1990, par exemple), soit à des périodes sèches et chaudes très intenses (2003).

En cas de déficit hydrique significatif du sol, la croissance radiale diminue, plus ou moins fort selon l'intensité et la période du stress. L'effet peut être direct, si le stress est intense, parfois associé à des chutes prématurées de feuilles, mais souvent, dans le cas des chênes, les effets sont différés aux années suivantes<sup>5</sup>. Les arbres peuvent, entre autres, montrer une surface foliaire amoindrie l'année qui suit une sécheresse. Parfois, de nombreuses années après une sécheresse intense, on observe l'apparition de mortalité de différents organes de l'arbre, et donc des pertes de ramifications dans le houppier. Ensuite des phénomènes de décurtation des branches et puis des troncs surviennent. Tout ceci dans un laps de temps plus ou moins important en fonction des conditions stationnelles et des aléas biotiques et abiotiques rencontrés par les arbres.

### Les risques biotiques principaux

Périodiquement, les peuplements de chênes subissent des attaques d'insectes défoliateurs qui

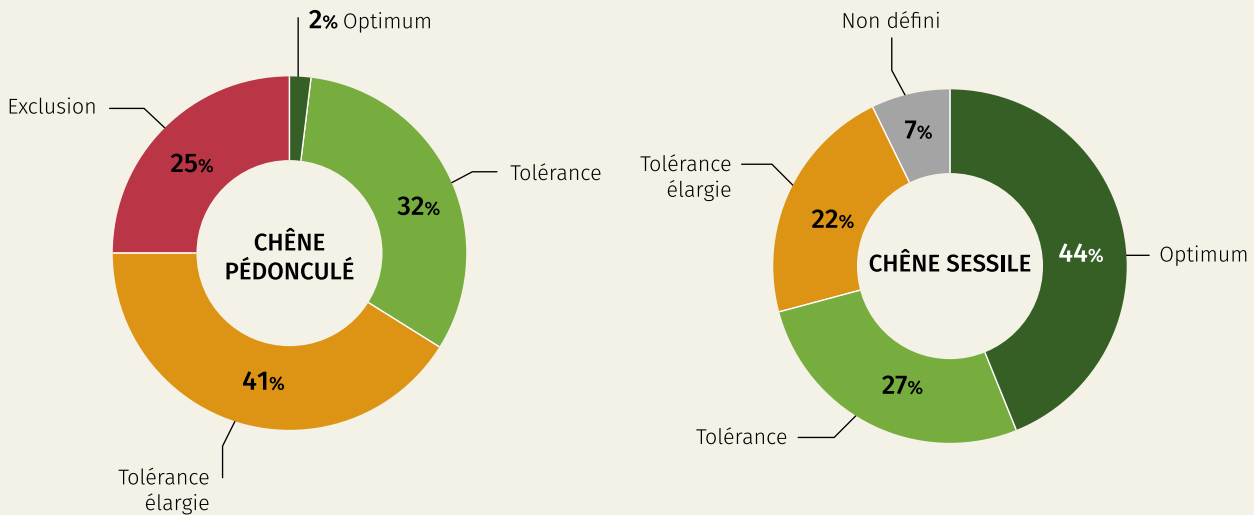
peuvent mener jusqu'à la disparition complète du feuillage au cours du printemps, ce qui oblige l'arbre à puiser dans ses réserves carbonées pour reformer un feuillage. Ces défoliations, en grande partie dues à des chenilles, sont des facteurs incitants importants lors de dépérissement. Seuls ils ne peuvent causer la mort de l'arbre. Cependant, des défoliations répétées dans le temps diminuent la résistance des arbres. Le phénomène peut être amplifié par les attaques d'oïdium au printemps ou en été. Des hivers doux et des printemps humides, comme nous les vivons actuellement, font apparaître des épidémies précoces d'oïdium. Dans le cas de fortes infestations, celles-ci brunissent et tombent prématurément. Il s'en suit un dessèchement des rameaux et des difficultés d'aoutement qui augmentent la sensibilité des chênes au froid. Le chêne pédonculé apparaît plus sensible à cet agent pathogène<sup>31</sup>.

D'après la surveillance de l'OWSF, des défoliations massives ont eu lieu en 2012 dans les chênaies ardennaises<sup>34</sup>. Cette même année a vu le développement important d'oïdium sur les chênes, et de même en 2013. Ces stress biotiques ont eu une incidence très importante sur l'état de santé des chênes dès 2013.

Autre agent infectieux du chêne : les espèces d'armillaires, parasites opportunistes n'infectant que des racines d'arbres préalablement affaiblis par d'autres causes, tels qu'un déséquilibre de l'alimentation en eau et en minéraux mais aussi la défoliation par des insectes<sup>27, 41</sup>.

La collybie, autre champignon lignivore, mais plus souvent cité comme facteur prédisposant, infecte surtout les racines de chênes pédonculés matures sur les sols peu hydromorphes et à texture grossière<sup>7, 28, 36</sup>, c'est-à-dire où le chêne pédonculé n'est pas en station. Bien que ce champignon soit présent en Ardenne, il est encore difficile d'évaluer sa contribution aux dépérissements du fait de sa lente activité souterraine, peu visible. Plusieurs années peuvent en effet s'écouler entre la phase d'infection et l'apparition de dégâts significatifs sur le système racinaire. À noter, que suite à ce qui a été mentionné plus haut par rapport aux sécheresses, les champignons racinaires peuvent amplifier le stress hydrique en limitant le développement du système racinaire.

Au cours des dix dernières années, des *Phytophthora* ont souvent été observés dans les racines de chênes dépérissant<sup>20, 21</sup>, mais aucune étude précise n'a encore été réalisée en Wallonie. Contrairement aux champignons lignivores, les *Phytophthora* détruisent d'abord les fines racines. Ils envahissent ensuite l'écorce interne et détruisent le cambium. Leurs dégâts s'observent parfois à la base de l'arbre sous forme de lésion corticale de teinte brune et suintante.



**Figure 2.** Fréquence d'observation du niveau d'adéquation du chêne à sa station. À gauche, pour le chêne pédonculé ; à droite pour le sessile. On y voit que le chêne pédonculé est souvent en difficulté sur ses stations, au contraire du sessile.

Ils se retrouvent dans de nombreux sols forestiers mais ils affectionnent particulièrement les sols hydromorphes, pas trop acides et à texture fine. Rarement responsables à eux seuls de dépérissements, leur impact sur chêne pédonculé s'est révélé plus important en présence d'armillaire ou de collybie<sup>30</sup>. Cette synergie entre agent pathogène pourrait accélérer la dégradation du système racinaire et conduire en quelques années à la mort des chênes stressés par d'autres facteurs, qu'ils soient biotiques ou abiotiques. L'activité pathogène des *Phytophthora* pourrait aussi être facilitée par la diminution des champignons mycorrhiziens suite à divers stress tels qu'une sécheresse, un tassement de sol ou un excès d'azote. Ces champignons vivent en symbiose avec les racines et constituent normalement une barrière physique et biochimique à des infections racinaires.

Parmi les facteurs aggravant majeurs, mentionnons un coléoptère xylophage, l'agrile (*Agrilus biguttatus*), qui jusqu'à présent est très peu présent en Wallonie même si déjà mentionné par le passé<sup>3</sup>. Les larves de cet insecte thermophile se nourrissent de l'aubier du chêne. Elles causent des perturbations au niveau de l'activité cambiale et limitent le flux de sève. Depuis les années '90, l'aire de répartition de l'agrile s'élargit avec les changements climatiques : il est associé à des mortalités de chênes dans des pays où il n'avait encore jamais été observé.

Dans le cas du dépérissement des chênes observé aujourd'hui, il n'y a pas de dégâts avérés provoqués par des insectes xylophages ni primaires ni secondaires. Cette observation a toute son importance. Nous ne sommes pas face à un stress biotique épidémique et il n'y a pas de dégradation rapide de la qualité des bois sur pied. Cette situation contraste par exemple avec certaines attaques de scolytes, en épicéa, ou lors de la crise du hêtre au début des années 2000.

### Les effets de la sylviculture

Dans la gestion des chênaies, on trouve quelques éléments prédisposants, principalement dans l'origine des peuplements actuels, dans l'adéquation de l'essence à sa station et dans la sylviculture qui leur est appliquée.

#### *Des chênes plus vieux qu'il n'y paraît*

Il est difficile d'établir un état des lieux quantifié, mais il est certain qu'une grande proportion des chênaies actuelles sont des futaies sur souche, c'est-à-dire qu'elles proviennent d'un balivage de vieux taillis (bois à tan, énergie et perches...). De nombreux arbres ont dès lors un système racinaire beaucoup plus vieux et moins fonctionnel que ne le laisse présager la tige visible.

#### *Une inadéquation fréquente entre le chêne et sa station*

Le chêne a été excessivement favorisé par le passé, sans égard à l'espèce de chêne. Le plus souvent, dans le taillis sous futaie, le climat lumineux a favorisé le plus héliophile et le plus colonisateur : le chêne pédonculé. Lors des plantations, c'est l'homme qui a préféré le pédonculé en raison de son meilleur pouvoir germinatif et de sa grande disponibilité à proximité des villages. Ainsi, on a pu montrer qu'en Ardenne, terre de sessile, celui-ci domine effectivement dans les chênaies-hêtraies historiques, tandis que les chênaies récentes sont systématiquement composées de pédonculés<sup>10</sup>.

En conséquence, l'analyse de l'adéquation stationnelle des chênes en Wallonie montre que dans 98 % des cas, le chêne pédonculé n'est pas à l'optimum (figure 2, à gauche), augmentant sa sensibilité aux accidents climatiques et aux bioagresseurs (insectes, champignons...). Les causes d'inadéquation les plus fréquentes sont le manque d'approvisionnement en eau du sol (sols superficiels, positions topographiques

défavorables...), mais aussi le manque de fertilité chimique (figure 3). La majorité des stations ardennaises cumulent les deux limitations. Par contre, le chêne sessile, plus frugal et plus tolérant au manque d'eau, est en optimum sur ces stations dans la plupart des cas (57 %, figure 2 à droite) et surtout plus rarement en exclusion (20 % des cas, essentiellement en sols trop secs). Il s'y est aussi développé naturellement.

#### *Une sylviculture peu respectueuse du tempérament du chêne*

De l'avis général, pour faire du chêne de la meilleure qualité, il vaut mieux produire du bois à cernes fins,

c'est-à-dire contraindre sa croissance. Si cette affirmation est partiellement vraie, cette manière de travailler n'est pas en accord avec le tempérament héliophile des chênes, et en particulier du pédonculé. Pour être en bonne santé, ce colonisateur a besoin d'espace. Or, selon l'inventaire forestier, dans 21 % des chênaies, la surface terrière (qui indique le niveau de compétition globale au sein des peuplements) dépasse 25 m<sup>2</sup>/ha<sup>11</sup>, alors que l'on s'accorde à considérer que la surface terrière des chênaies en bon état de concurrence se situe entre 15 et 18 m<sup>2</sup>/ha<sup>37</sup>. Beaucoup de chênes se trouvent ainsi en situation de déséquilibre physiologique, avec un houppier étriqué, ce qui les fragilise vis-à-vis des agressions diverses.

**Figure 3.** Distribution des chênaies pédonculées dans l'écogramme hydrique-trophique du fichier écologique des essences révisé. L'échelle trophique évalue la réserve potentielle en nutriment, les stations les plus pauvres étant représentées par les valeurs négatives. L'échelle hydrique évalue la réserve en eau, les stations les plus humides étant représentées par les valeurs négatives (sauf cas particulier des sols à RHA). L'aptitude du chêne pédonculé en fonction des classes hydro-trophiques est surimposée selon un code couleur. On constate une grande quantité de chênaies dans des milieux trop acides et trop secs, qui représentent en réalité les stations les plus fréquentes en forêt wallonne (Ardenne).



### Crise sanitaire : que faire et ne pas faire ?

En période de crise sanitaire, les mesures de mobilisation de la ressource et de commercialisation des bois prennent souvent un caractère d'urgence qui justifie de déroger ponctuellement aux plans de gestion. La crainte de la possible dégradation de la valeur économique des bois incite légitimement les propriétaires à rendre prioritaire cette récolte<sup>17</sup>. Cependant, malgré le contexte actuel favorable du marché du bois de chêne, cette valorisation ne doit pas faire oublier que des exploitations fréquentes et désordonnées dans un peuplement risquent de le déstabiliser et d'induire des pertes futures qui peuvent s'avérer plus importantes que le dépérissement en lui-même.

#### Fondements des actions de gestion

Aujourd'hui, dans le cas du chêne, aucun risque de contamination des arbres dépérissants vers les arbres sains n'étant observé, l'exploitation rapide des bois n'est donc pas indispensable pour des raisons sanitaires. Par ailleurs, aucune dégradation significative du bois n'est observée au cours du dépérissement, ni même jusqu'à 3 à 4 ans après la mort de l'arbre (excepté éventuellement l'aubier, ce qui ne pose pas de problème lors de la valorisation), que ce soit par dégradation biologique ou par altération de sa masse volumique<sup>24</sup>. De plus, sur les chênes morts, les fentes de sécheresse n'apparaissent pas dans le bois tant que l'écorce protectrice est encore collée au tronc. La situation n'est donc pas aussi critique que lors de la crise du hêtre qui affecta plus d'un million de mètres cubes de bois en Wallonie dans les années 2000. On peut donc temporiser, ce qui permet de mettre en place une gestion raisonnée de la situation, tenant compte des différents enjeux liés à la forêt. Il n'est pas utile de parcourir hors aménagement et à grands frais toutes les parcelles à la recherche de bois morts ou dépérissants.

### Dans quel cas intervenir ?

Pour décider d'intervenir, on se référera à la fois aux enjeux et objectifs du plan d'aménagement, et à l'ampleur du dépérissement observé (stade de dépérissement, taux d'arbres atteints).

#### Enjeux et objectifs du plan d'aménagement

Une intervention locale doit être réfléchie en fonction du plan de gestion s'appliquant à la propriété concernée et en fonction des enjeux régionaux :

- Il va de soi que dans les réserves forestières, ce phénomène de dépérissement doit être accueilli comme un événement normal du cycle sylvigénétique. Il met en place une dynamique favorable aux organismes héliophiles et à la diversité des peuplements en structure et composition.
- Dans les sites Natura 2000, les interventions doivent être menées en cohérence avec les objectifs de conservation définis pour ces sites. Le maintien d'une certaine quantité d'arbres morts et d'arbres d'intérêt biologique est un de ces objectifs. À certains endroits, lorsque le dépérissement n'est pas généralisé, il représente une opportunité pour réaliser les objectifs de conservation des habitats naturels forestiers et améliorer l'état de conservation d'espèces protégées. Le maintien de bois mort et dépérissant se justifie d'autant mieux que leur rôle écologique consiste notamment à accueillir des oiseaux cavernicoles qui régulent les populations d'insectes défoliateurs.
- Par ailleurs, une large majorité de chênaies se situe dans des massifs forestiers multiséculaires. Une vocation prioritaire de conservation s'applique aux forêts historiques publiques en vertu du Code forestier (art. 57).

#### Valeur seuil de l'ampleur du dépérissement

Dans la forêt de production, même si la multifonctionnalité est de mise, lorsque le dépérissement prend de l'ampleur, il peut s'avérer nécessaire de limiter les pertes économiques, tant pour le propriétaire que pour la filière bois. Une parcelle forestière sera considérée comme dépérissante si plus de 20 % des arbres présentent une perte de houppier de plus de 50 % (défoliation, perte de ramification, branches mortes)<sup>17</sup>. Ce qui revient à dire, que si dans un peuplement plus d'un arbre sur cinq a perdu la moitié de son houppier en saison de végétation, on se trouve dans un processus de dépérissement important.

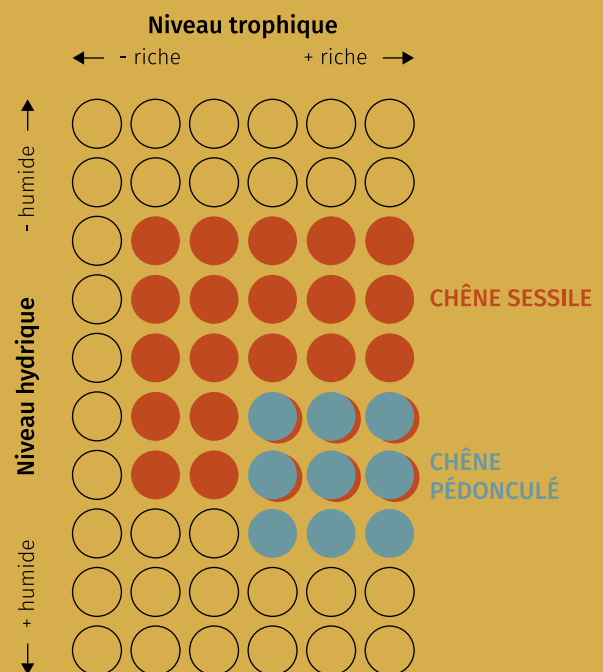
Dans les peuplements qui vont passer en coupe, il faut donc passer en revue l'état des peuplements pour identifier leur niveau de défoliation. Cela pourra se faire lors du martelage ou de l'état d'assiette, en saison de végétation, à l'aide d'un référentiel de l'état de feuillaison d'un houppier sain de chêne (pédonculé et sessile).

### Encart 1. Un chêne peut en cacher un autre

Parmi les chênes présents en Wallonie, trois sont indigènes et deux forment le fond de nos forêts feuillues depuis plus d'un millénaire : le chêne sessile (*Quercus petraea*) et le chêne pédonculé (*Quercus robur*). À moins d'une attention particulière, les caractéristiques morphologiques de ces deux essences ne sont pas évidentes à discerner. Pendant bien longtemps, le forestier n'a donc pas fait la différence. Bien que ces deux essences se ressemblent au plan morphologique, leur écologie est très différente. Le chêne pédonculé, essence pionnière et héliophile, a besoin d'eau en toute saison et ne supporte pas la sécheresse. Sa faible résistance à la sécheresse a été démontrée<sup>12, 4</sup> et est liée à une sensibilité plus grande à la cavitation et l'embolie\*. Il est ainsi à l'optimum dans des milieux riches et frais de bas de versant et fond de vallée. Le chêne sessile, également héliophile mais supportant un peu mieux l'ombre, est plus souple et se comporte donc mieux sur des sols plus pauvres et secs que son essence jumelle. Les conditions optimales de croissance des deux chênes et leur comportement face aux contraintes stationnelles sont par conséquent très différentes.

Ainsi, la distribution du chêne pédonculé et du chêne sessile dans les massifs forestiers devrait donc dépendre naturellement du gradient d'alimentation en eau du sol et de la richesse du sol. Cependant, cet ordre naturel a été bouleversé par l'homme. Cela pourrait être une des causes du dépérissement observé, au moins pour le chêne pédonculé.

\* La cavitation se produit lorsque, sous l'effet de tensions très élevées, en un point donné de la sève, des bulles de gaz apparaissent, grossissent et envahissent très rapidement (de l'ordre de la microseconde) le vaisseau conducteur. L'effet de la cavitation sur le blocage de la circulation de sève s'appelle l'embolie.



Autécologie comparée des chênes sessile et pédonculé. Zones optimales de croissance et développement. Le chêne sessile possède une large amplitude trophique et hydrique, alors que l'optimum du chêne pédonculé est limité aux sols riches et frais.

En dessous de ces seuils, on veillera à maintenir une gestion courante normale mais tout en gardant un niveau de vigilance accrue vu le contexte sanitaire. Lors du prochain martelage prévu à l'aménagement, les quelques arbres sénescents ou morts seront autant d'opportunités d'atteindre les normes de gestion de la biodiversité que proposent le code forestier, la circulaire « biodiversité » ou encore le PEFC, voire dans les cas concernés, les normes Natura 2000.

Au-dessus de ces seuils et à une échelle minimale de la parcelle de gestion, si les enjeux sur le peuplement le justifient, il peut être utile d'intervenir pour proposer un lot d'arbres morts récemment ou dont le potentiel de reprise ou de survie est faible. Le choix des arbres à exploiter se portera sur les bois dont la proportion de branches mortes dans le houppier est supérieure à 75 %. Dans ce cas, il n'est pas exclu d'envisager un passage à mi rotation ; cependant, cette opération doit rester exceptionnelle car en règle gé-

nérale, le bois se dégrade peu au cours du dépérissement et jusque dans les 3 à 4 années après la mort de l'arbre.

### Comment exploiter dans les peuplements dépérissants ?

Les peuplements dépérissants sont des peuplements vulnérables. Les dégâts au sol et la déstabilisation des arbres encore sains par des exploitations brutales sont de nature à aggraver la situation. Il faut donc bien cibler et organiser les interventions pour ménager les arbres restants et préserver le potentiel du peuplement à réagir à cette crise sanitaire. Plusieurs points sont importants à considérer.

#### Réaliser un bon diagnostic de l'état sanitaire des arbres

Lors des martelages, il est important de pouvoir diagnostiquer l'avenir des arbres dépérissants. En effet, certains chênes se maintiennent longtemps en vie malgré un houppier fortement défolié, et certains même ont la capacité de reconstruire un houppier et ne sont pas forcément condamnés. La méthode d'analyse architecturale des arbres (ou méthode ARCHI)<sup>16</sup> permet de diagnostiquer les anomalies du développement (écarts à la normale), ainsi que les processus de résilience (retours à la normale).

Actuellement, en période de gestion de crise sanitaire de nos chênes indigènes, il est nécessaire de prendre le temps d'évaluer l'état des houppiers lors des martelages. D'autant plus que les sécheresses répétées ont un impact d'autant plus marqué sur la résilience des chênes que leur état architectural est dégradé<sup>23</sup>.

Complémentairement à la méthode ARCHI, deux indicateurs simples d'approche peuvent être également évalués : la présence de branches mortes et la simplification de ramification dans l'ensemble du houppier. Si ces deux indicateurs sont à des niveaux élevés, le potentiel de récupération de l'arbre est faible (L.-M. Nageleisen, com. pers.).

#### Protéger les arbres restants

À l'issue d'une éclaircie sanitaire, l'environnement immédiat des arbres restants peut être fortement modifié et peut devenir un facteur incitant au dépérissement au sens de la *spirale de Manion* :

- L'apport accru de lumière peut provoquer l'émergence de gourmands, particulièrement dans les peuplements qui avaient été longtemps maintenus trop denses ou dont le sous-bois avait été malencontreusement réduit.
- L'enlèvement des arbres et en particulier du sous-bois diminue l'effet tampon de l'ambiance forestière et expose donc plus fortement les arbres restants aux stress climatiques.



Dépérissement de chêne sessile en forêt ancienne (La Roche, octobre 2014).



- Les éventuels tassements de sols, écrasement de racines ou blessures aux troncs et aux racines lors d'exploitations mal conduites sont des causes supplémentaires de stress, amplifiant ou générant de nouveaux facteurs prédisposants.

Il faut donc limiter ces modifications par un martelage et une exploitation bien réfléchis de manière à ne pas mettre en péril le peuplement résiduel. En particulier, il sera important de compter sur le potentiel génétique de ces arbres qui ont traversé la crise pour que s'établisse une population d'arbres plus résilients pour l'avenir.

#### *Maintenir en forêt des arbres sénescents et un stock de bois mort sur pied et au sol*

La crise sanitaire est une opportunité d'augmenter la capacité d'accueil de la forêt pour la biodiversité en réservant parmi les arbres de faible valeur économique des arbres sénescents et du bois mort. Le chêne est en effet une essence particulièrement intéressante à ce sujet car :

- De nombreuses espèces sont dépendantes des vieux chênes et des chênes morts, en particulier les pics qui y creusent des cavités qui serviront à tout un cortège d'organismes (oiseaux, petits mammifères, dont les chauves-souris, insectes...).
- Le bois mort de chêne se décompose lentement ; il reste donc longtemps disponible pour la faune avant de pourrir complètement. Par la même occasion, une moins grande part de la productivité forestière doit être consacrée à la production de bois mort.

Dans le même ordre d'idées, comme les chênaies sont porteuses d'une grande biodiversité, il importe aussi de respecter les dates critiques d'abattage par rapport à l'avifaune et de respecter les arbres porteurs de nids, qui entrent par ailleurs dans la catégorie des arbres de grande valeur biologique.

#### *Protéger absolument les sols*

Il ne faut plus démontrer les effets néfastes du tassement des sols sur le fonctionnement de l'écosystème<sup>13,14</sup>, et en particulier sur la vitalité des racines des arbres. La pédofaune et la pédoflore ont besoin d'un sol aéré pour jouer leurs rôles de maintien de la fertilité des sols et de la capacité des arbres à s'alimenter, avec l'appui des mycorhizes.

Ainsi, tasser le sol de peuplements déjà en crise ne peut qu'accentuer le dépérissement des arbres qui auraient réussi à survivre. Ce tassement produit ses effets jusqu'à 70 cm de profondeur et pour de longues années<sup>25</sup>. Un affaiblissement de la diversité mycorhizienne est corrélé avec les signes de dépérissement des chênes<sup>40</sup>.

Lors de l'exploitation dans les peuplements en crise où l'on est parfois amené à passer plus souvent (à mi-rotation) ou à prélever de plus gros volumes de bois que d'habitude, il est donc particulièrement important de respecter le sol. On ne peut que réitérer les mesures phares à respecter :

- Établir des cloisonnements d'exploitation (s'ils n'existent déjà) qui seront les seuls lieux de circulation des machines, qu'il s'agisse de l'exploitation de grumes ou de bois de chauffage.
- Utiliser une mécanisation adaptée à la portance du sol, et donc, en corollaire, interdire l'accès aux machines lourdes hors des périodes où le sol est gorgé d'eau.

#### **Quel futur pour les peuplements très touchés ?**

Cette réflexion à plus long terme est en cours et nécessite encore un peu de recul sur la crise, des retours d'expérience et l'acquisition de quelques arguments scientifiques. Cependant, on peut déjà considérer que de nombreux paramètres interviendront dans la décision :

- Quelle est l'ampleur des mortalités et la surface terrière résiduelle ?
- Quelle espèce de chêne est dépérissante et est-elle en station ?
- Le prélèvement des chênes a-t-il créé une dynamique positive de régénération ou provoque-t-il un blocage (développement de ronces ou de fougère aigle, par exemple) ?
- Quel est le statut de protection de l'habitat ?
- Quelle orientation le propriétaire veut-il donner à son peuplement ?

#### **Comment apporter sa pierre à l'amélioration de la compréhension du phénomène ?**

Les gestionnaires de terrain ont leur expertise à apporter vers les scientifiques. Ils peuvent relayer toute une série d'informations qui permettront d'améliorer la compréhension du phénomène et d'établir des voies de gestion future pour les chênaies. En particulier, dans les cas de dépérissement :

- Quelle est l'essence touchée ?
- Est-elle en adéquation avec sa station ?
- Quelles observations peuvent éclairer le phénomène de dépérissement (accidents climatiques, attaques de chenilles, de maladies...)?

#### **Conclusion**

Nous sommes confrontés à une nouvelle vague de dépérissement du chêne et il n'y a pas grand-chose que l'on puisse faire pour la limiter. Cependant, pas de panique : l'exploitation n'est pas urgente, puisqu'aucun



## POINTS-CLEFS

- ▶ Des phénomènes de dépérissement du chêne sont observés de plus en plus fréquemment, surtout en Ardenne et sur chêne pédonculé.
- ▶ Les raisons sont multiples mais les observations montrent déjà souvent une inadéquation de l'essence avec la station.
- ▶ L'Observatoire wallon de la Santé des Forêts appelle à une gestion ordonnée de la situation, et notamment à ne pas multiplier les exploitations.
- ▶ Il n'y a pas d'urgence sanitaire et le bois de chêne reste sain au cours du dépérissement jusqu'au décollement de l'écorce 3 à 4 ans après la mort de l'arbre.
- ▶ Toute information peut être relayée auprès de l'Observatoire wallon de la Santé des Forêts ou auprès d'un de ses partenaires scientifiques.

risque de contagion ni d'altération de la qualité du bois ne sont à craindre. Sauf peut-être dans quelques cas exceptionnels, elle peut rester dans le canevas des plans d'aménagement. Il faut éviter de multiplier les passages pour récolter au fur et à mesure le moindre arbre mort ou dépérisant à grands frais de gestion (martelage, lotissement, vente, surveillance des exploitations...). Il n'est pas sûr que cette opération soit rentable dans le cas de petits volumes dispersés<sup>9</sup>.

Pour le futur des chênaies, il est important de respecter la vulnérabilité de l'écosystème (sols, arbres restants) lors des exploitations. Dans le cas contraire, l'action du forestier accélérerait la dynamique de dépérissement en déstabilisant les arbres qui ont jusqu'ici survécu à la crise.


Même si dans certains cas les pertes économiques sont réelles, il est important de garder à l'esprit que la gestion de cette crise est une opportunité d'atteindre les objectifs en matière de capacité d'accueil des forêts pour la biodiversité (code forestier, PEFC, Natura 2000, circulaire biodiversité).

Le dépérissement des chênes touche largement des arbres qui n'étaient pas en station. En effet, bien souvent, les crises sanitaires éradiquent les erreurs du forestier<sup>33</sup>. Il faudra donc bien réfléchir à la façon de réaliser la transition.

Quoiqu'il en soit, le chêne est une ressource en bois de qualité exceptionnelle, une essence d'accompagnement intéressante et ses peuplements possèdent une grande capacité d'accueil pour la biodiversité.

Il faut donc bien peser le pour et le contre avant de s'orienter vers d'autres essences.

La gestion de cette crise nécessite la collaboration de tous. Toute information ramenée vers l'OWSF et les équipes de recherche est susceptible de nous faire avancer vers la compréhension du phénomène et vers la meilleure manière de le gérer. ■

*La bibliographie complète de cet article (41 références) est disponible sur le site [foretwallonne.be](http://foretwallonne.be), sur la page consacrée à ce numéro 140 de Forêt.Nature. *

*La surveillance des chênaies dépérisantes a pu être réalisée au travers des missions de l'Observatoire de la Santé des Forêts et du Département de la Nature et des Forêts. Les membres de l'équipe de l'OWSF du DEMNA (Elodie Bay, Murielle Fesler, Jean-Luc Goosse, Quentin Leroy, Patrick Mertens, Céline Noulard, Ferdinand Ramelot et Roland Rossillon) et les correspondants observateurs du DNF ont contribué à l'amélioration des connaissances par leurs observations de terrain. Qu'ils en soient vivement remerciés. Merci également à Louis-Michel Nageleisen (Département Santé des Forêts, France) pour ses conseils avisés et à Hugues Lecomte pour les données de l'IPRFW.*

**Crédits photos.** L. Delahaye (p. 59), H. Dubois (p. 66).

**Laurence Delahaye<sup>1</sup>**

**Hugues Claessens<sup>2</sup>**

**Julie Losseau<sup>3</sup>**

**Sophie Cordier<sup>2</sup>**

**Marc Herman<sup>1</sup>**

**Jonathan Lisein<sup>2</sup>**

**Anne Chandelier<sup>4</sup>**

**Caroline Vincke<sup>3</sup>**

laurence.delahaye@spw.wallonie.be

<sup>1</sup> Observatoire wallon de la Santé des Forêts (SPW-DGO3-DEMNA)

Avenue Maréchal Juin 23 | B-5030 Gembloux

<sup>2</sup> Unité de Gestion des Ressources forestières (ULg-GxABT)  
Passage des Déportés 2 | B-5030 Gembloux

<sup>3</sup> Earth & Life Institute, Environmental Sciences (UCL, ELI)  
Croix du Sud 2 bte L7.05.09 | B-1348 Louvain-la-Neuve

<sup>4</sup> Biologie des Nuisibles et Biovigilance (CRA-W)  
Rue de Liroux 9 | B-5030 Gembloux

## Entre valorisation, conservation et dépérissement : la gestion de nos chênaies à la croisée des chemins

Laurence Delahaye<sup>1</sup>

Hugues Claessens<sup>2</sup>

Julie Losseau<sup>3</sup>

Sophie Cordier<sup>2</sup>

Marc Herman<sup>1</sup>

Jonathan Lisein<sup>2</sup>

Anne Chandelier<sup>4</sup>

Caroline Vincke<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Observatoire wallon de la Santé des Forêts (SPW-DGO3-DEMNA)

<sup>2</sup> Unité de Gestion des Ressources forestières (ULg-GxABT)

<sup>3</sup> Earth & Life Institute, Environmental Sciences (UCL)

<sup>4</sup> Biologie des Nuisibles et Biovigilance (CRA-W)

*Forêt.Nature* n° 140, p. 59-68.

### Bibliographie

- <sup>1</sup> Alderweireld M., Ligot G., Latte N., Claessens H. (2010). Le chêne en forêt ardennaise, un atout à préserver. *Forêt Wallonne* 109 : 10-24.
- <sup>2</sup> Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259 : 660-684.
- <sup>3</sup> Andersson M., Milberg P., Bergman K.-O. (2011). Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.) : Is oak death a long-term process induced by dry years ? *Annals of Forest Science* 68 : 159-168.
- <sup>4</sup> Bréda N., Cochard H., Dreyer E., Granier A. (1993). Field comparison of transpiration, stomatal conductance and vulnerability to cavitation of *Quercus petraea* and *Quercus robur* under water stress. *Annals of Forest Science* 50(6) : 571-582.
- <sup>5</sup> Bréda N., Huc R., Granier A., Dreyer E. (2006). Temperate forest trees and stands under severe drought : a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science* 63 : 625-644.
- <sup>6</sup> Brown N., Inward D. J. G., Jeger M., Denman S. (2015). A review of *Agrilus biguttatus* in UK forests and its relationship with acute oak decline. *Forestry* 88(1) : 53-63.
- <sup>7</sup> Camy C., Delatour C., Marçais B. (2003). Relationships between soil factors, *Quercus robur* HEALTH, *Collybia fusipes* root infection and *Phytophthora* presence. *Annals of Forest Science* 60(5) : 419-426.
- <sup>8</sup> Claes V. (1998). Influence des facteurs mésologiques sur le dépérissement des chênes indigènes en Région wallonne. Travail de fin d'étude, FuSAGx.
- <sup>9</sup> Claessens H. (2012). Avis de tempête. *Forêt Wallonne* 116 : 56-58.
- <sup>10</sup> Claessens H., Thibaut A., Rondeux J. (1998). Rapport final, Centre de Recherche et de Promotion forestières. FRIA, Gembloux, 120 p. 
- <sup>11</sup> Claessens H., Perin J., Latte N., Lecomte H., Brostaux Y. (2010). Une chênaie n'est pas l'autre : analyse des contextes sylvicoles du chêne en forêt wallonne. *Forêt Wallonne* 108 : 3-18. 
- <sup>12</sup> Cochard H., Bréda N., Granier A., Aussenac G. (1992). Vulnerability to air embolism of three European oak species (*Quercus petraea* (MATT.) LIEBL., *Q. pubescens* WILLD., *Q. robur* L.). *Annals of Forest Science* 49 : 225-233.
- <sup>13</sup> de Paul M.-A., Bailly M. (2005). La compaction des sols forestiers, définition et principes du phénomène. *Forêt Wallonne* 76 : 39-47. 
- <sup>14</sup> de Paul M.-A., Bailly M. (2005). Effets de la compaction des sols forestiers. *Forêt Wallonne* 76 : 48-57. 
- <sup>15</sup> Delatour C. (1983). Le dépérissement des chênes en Europe. *Revue Forestière Française* 35(3) : 199-204.
- <sup>16</sup> Drénou C., Bouvier M., Lemaire J. (2011). La méthode de diagnostic ARCHI. Application aux chênes pédonculés dépérissants. *Forêt entreprise* 200 : 4-15.
- <sup>17</sup> Gauquelin X. (2010). *Guide de gestion des forêts en crise sanitaire*. Institut pour le Développement Forestier, France, 96 p.
- <sup>18</sup> Haavik L.J., Billings S.A., Guldin, J.M., Stephen, F.M. (2015). Emergent insects, pathogens and drought shape changing patterns in oak decline in North America and Europe. *Forest Ecology and Management* 354 : 190-205.
- <sup>19</sup> Huntington T.G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle : Review and synthesis. *Journal of Hydrology* 319(1-4) : 83-95.
- <sup>20</sup> Jung T., Blaschke H., Neumann P. (1996). Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. *European journal of Forest Pathology* 26 : 253-272.
- <sup>21</sup> Jung T., Blaschke H., Osswald W. (2000). Involvement of soilborne *Phytophthora* species in central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathology* 49 : 706-718.
- <sup>22</sup> Knapp A.K., Beier C., Briske D.D., Classen A.T., Luo Y., Reichstein M., Smith M.D., Smith S.D., Bell J.E., Fay P.A. et al. (2008). Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems. *Bioscience* 58 : 811-821.
- <sup>23</sup> Lebourgeois F., Drénou C., Bouvier M., Lemaire J. (2015). Caractérisation de la croissance des Chênaies pédonculées atlantiques dépérissantes. Effets des sécheresses et relation avec l'architecture des houppiers. *Revue Forestière Française* 67(4) : 333-351.
- <sup>24</sup> Lica D., Cosereanu C. (2014). Investigation on the properties of pedunculate oak wood affected by oak decline. *Pro Ligno* 10(4) : 69-78.



- <sup>25</sup> **Lüscher P., Frutig F., Thees O.** (2015). *La protection des sols en forêt contre les atteintes physiques. La gestion forestière entre les impératifs de rentabilité et la préservation des propriétés physiques du sol.* Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1607, 160 p.
- <sup>26</sup> **Manion P. D.** (1981). *Tree disease concepts.* Prentice-Hall, Inc.
- <sup>27</sup> **Marçais B., Bréda N.** (2006). Role of an opportunistic pathogen in the decline of stressed oak trees. *Journal of Ecology* 94 : 1214-1223.
- <sup>28</sup> **Marçais B., Caël O., Delatour C.** (1999). Measuring the impact of *Collybia fusipes* on the root system of oak trees. *Annals of forest science* 56(3) : 227-235.
- <sup>29</sup> **Marçais B., Caël O., Delatour C.** (1999). Rôle de *Collybia fusipes* dans les chênaies du nord-est de la France. *Revue Forestière Française* 51(2) : 365-372. 
- <sup>30</sup> **Marçais B., Caël O., Delatour C.** (2011). Interaction between root rot basidiomycetes and *Phytophthora* species on pedunculate oak. *Plant Pathology* 60 : 296-303.
- <sup>31</sup> **Marçais B., Desprez-Loustau M.-L.** (2014). European oak powdery mildew : impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science* 71(6) : 633-642.
- <sup>32</sup> **Nageleisen L.M.** (1994). Dépérissement actuel des chênes. *Revue Forestière Française* 46(5) : 504-511.
- <sup>33</sup> **Nageleisen L.-M., Piou D., Saintonge F.-X.** (2010). *La santé des forêts.* IDF, Paris, 608 p.
- <sup>34</sup> **OWSF** (2014). *La lettre de l'Observatoire wallon de la santé des forêts n° 1. Données 2012 et 2013.* OWSF, 16 p. 
- <sup>35</sup> **OWSF** (2015). *La News de l'OWSF, août 2015.* OWSF, 5 p. 
- <sup>36</sup> **Piou D., Delatour C., Marçais B.** (2002). Hosts and distribution of *Collybia fusipes* in France and factors related to the disease's severity. *Forest Pathology* 32(1) : 29-41.
- <sup>37</sup> **Sardin T.** (2008). *Chênaies continentales.* Éd. Office National des Forêts, Coll. Guide des sylvicultures, Paris, 455 p.
- <sup>38</sup> **Thomas F.M., Blank R., Hartmann G.** (2002). Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology* 32 : 277-307.
- <sup>39</sup> **Trumbore S., Brando P., Hartmann H.** (2015). Forest health and global change. *Science* 349(6250) : 814-818.
- <sup>40</sup> **Van Driessche I., Piérart P., Cuvelier J.-J., Bailly L.** (1995). Ectomycorhization et état sanitaire du hêtre et du chêne en forêt de Soignes. *Belgian Journal of Botany* 128 : 57-70.
- <sup>41</sup> **Wargo P. M.** (1996). Consequences of environmental stress on oak : predisposition to pathogens. *Annales des sciences forestières* 53(2-3) : 359-368.