

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



Les dépérissements récents du chêne pédonculé en Ardenne : une longue histoire ?

Julie Losseau | Mathieu Jonard | Hugues Titeux | Caroline Vincke
Environmental Sciences, Earth and Life Institute (UCL)

Et si les dépérissements en chêne observés aujourd'hui n'étaient que le reflet d'affaiblissements passés ? Jusqu'où faut-il remonter pour en découvrir l'origine ? Quels sont les aléas qui les ont tant déforçés ? Remontée dans le temps à travers la largeur de cerne...



Des houppiers transparents, des feuilles en paquets, de la mortalité dans les branches et les rameaux... Nous voici dans un peuplement de chênes dépérissants. Si tout dépérissement n'est pas dramatique, il se termine parfois avec des mortalités importantes et soulève alors l'inquiétude du gestionnaire. À quoi est due la mortalité des arbres ? Que faire des arbres dépérissants ? Vont-ils parvenir à récupérer ? Faut-il continuer à produire du chêne dans les peuplements concernés ? Que planter à la place ?... Cet article présente une étude qui s'est intéressée aux causes des dépérissements récents des chênes pédonculés, observés en Wallonie en 2013. À partir d'une étude dendrochronologique, l'historique de croissance de chênes pédonculés sains, dépérissants et mourants a été analysé sur une période de 60 ans, en considérant les aléas biotiques (attaques de chenilles) et abiotiques.

Qu'est-ce qu'un dépérissement ?

Mais premièrement qu'entend-on par dépérissement ? Le terme de dépérissement est abondamment utilisé et caractérise des situations souvent bien diverses. De façon générale, un dépérissement est associé à une baisse de vitalité de l'arbre qui se traduit par une dégradation principalement visible au niveau de son houppier¹⁶. Cette dégradation ne peut être associée à un pathogène unique (on parle dans ce cas de maladie), mais plutôt à une combinaison de facteurs (anthropiques, biotiques et abiotiques), couramment classés en trois groupes dans la spirale de déclin¹⁴ : les facteurs prédisposants agissent de façon chronique (sols inadéquats, compétition importante entre les arbres, âge...) et contribuent à l'affaiblissement général de l'arbre ce qui le rend plus sensible aux facteurs

déclenchants. Ces derniers agissent de façon intense sur des périodes de temps relativement courtes (sécheresses, défoliateurs...). Enfin, les facteurs aggravants s'attaquent à des arbres préalablement affaiblis et accentuent la perturbation (pathogènes secondaires, par exemple). Ce sont eux qui provoquent la mort de l'arbre (figure 1).

Si la spirale du déclin a comme mérite de présenter le phénomène comme graduel et multifactoriel, elle présente plusieurs limites. Ainsi, le rôle de chaque facteur dans la spirale peut se discuter. Par exemple, les pathogènes racinaires sont classés par certains comme des facteurs prédisposants et par d'autres comme des facteurs aggravants. La spirale ne représente par ailleurs pas l'effet cumulé des facteurs déclenchants et les feedbacks positifs sur la vulnérabilité de l'arbre à de futurs stress.

Une approche plus récente a été proposée⁵. Elle consiste à évaluer le risque de dépérissement et de mortalité en se référant à trois variables : la vulnérabilité du peuplement, les aléas biotiques et abiotiques et l'exposition du peuplement à ces aléas (figure 2). La vulnérabilité concerne à la fois l'environnement et l'état de l'arbre. On y retrouve les facteurs prédisposants ainsi que les aspects liés à la vitalité de l'arbre. Parmi les aléas, nous retrouvons tous les événements extrêmes qui vont affecter l'arbre et le rendre plus vulnérable à des stress futurs. L'impact de ces événements extrêmes est fonction du moment où ils surviennent. Une sécheresse en hiver, au printemps ou en été n'aura pas le même impact. Le synchronisme entre le cycle de vie d'une chenille défoliatrice et la phénologie de l'arbre cible influence beaucoup l'impact d'une attaque. Ces deux exemples illustrent l'importance de la notion d'exposition.

RÉSUMÉ

En 2014, de nombreux cas de dépérissements de chêne pédonculé accompagnés de mortalités importantes ont alarmé les gestionnaires forestiers wallons. Ces dépérissements concernaient principalement le chêne pédonculé en Ardenne. Le dépérissement du chêne s'étalant parfois sur plusieurs décennies et étant associé à de multiples facteurs, nous avons cherché à comprendre l'origine du phénomène actuel à travers une étude dendroécologique. La croissance radiale étant en effet un bon indicateur de vitalité, nous l'avons analysée sur plus de 40 ans pour des arbres classés en 2014 comme sains, mourants et dépérissants. La comparaison des largeurs de cerne entre les arbres sains et les autres

a montré que le début de l'affaiblissement des arbres aujourd'hui morts ou fortement dépérissants remontait au milieu des années '80, ce qui correspond à la dernière grande crise de mortalité régionale du chêne pédonculé. La période 1975-1987 a été particulièrement stressante (sécheresses, hivers rigoureux, attaques de chenille), et certains arbres ne sont pas parvenus à récupérer. Chaque stress ultérieur n'a fait que les affaiblir un peu plus. Parmi les aléas majeurs ayant impacté durablement la vitalité des arbres, deux groupes ont été identifiés : les hivers rigoureux d'une part et les attaques de chenilles précédées de sécheresses et de glandées d'autre part.

Les dépérissements passés et récents en Wallonie

En Belgique, trois grandes vagues de dépérissement des chênes ont été observées : au début du 20^e siècle, entre 1941 et 1943 et entre 1983 et 1987 avec un pic de mortalité en 1987^{9,11}. Depuis 1987, le phénomène n'a jamais complètement disparu, mais son intensité et sa localisation ont varié d'une année à l'autre²⁷.

En 2013, plusieurs cas de dépérissements associés à des mortalités importantes ont alarmé les gestionnaires forestiers. Afin d'évaluer l'ampleur du phénomène, une enquête menée par la Direction des ressources forestières (DNF) et l'Observatoire wallon de la santé de forêts (OWSF-DEMNA) durant l'été 2014 a permis de répertorier plus de 1000 ha de chênaies dépérissantes (figure 3), avec des mortalités touchant parfois jusqu'à 80 % des tiges.

Le chêne pédonculé était l'espèce principalement touchée même si des cas de dépérissement de chênes sessiles ont été signalés ponctuellement (cantonement de la Roche-en-Ardenne notamment). Les arbres avaient une circonférence de 120-150 cm. Plusieurs facteurs prédisposants, déjà mentionnés dans des études passées, ont été mis en évidence dans cette première analyse. La grande majorité des peuplements recensés étaient situés en Basse et Moyenne Ardenne et en Ardenne Centro-Orientale, qui, si elles ne sont pas des régions limitantes pour le chêne au niveau climatique, correspondent souvent à des situations où le chêne pédonculé est peu adapté¹. Les sols, en combinaison avec la topographie, y sont souvent limitants au niveau de l'approvisionnement en eau (sols à drainage excessif ou à mauvais drainage). Pour rappel, le chêne pédonculé est un arbre de vallée, qui trouve son optimum sur des sols riches et constamment alimentés en eau²⁸. Au niveau sylvicole, les peuplements étaient quasi exclusivement des futaies sur souches issues de taillis. Cela pose question au niveau de l'âge des souches et du système racinaire, ainsi qu'à propos de la fertilité des sol (le taillis étant un traitement qui conduit à un appauvrissement des sols).

Objectifs de l'étude

Si plusieurs facteurs prédisposants ont pu être mis en évidence, de nombreuses interrogations demeuraient, notamment au niveau de la temporalité du dépérissement récent et des aléas associés. Une étude poussée de quatre peuplements dépérissants a donc été menée afin de mieux comprendre le processus de dépérissement en Ardenne. Dans un premier temps,

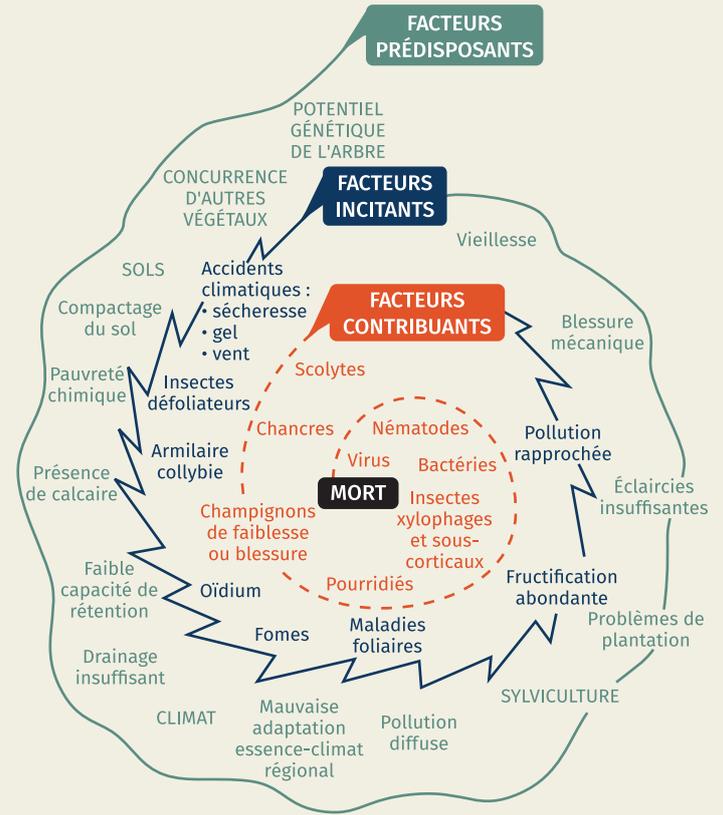


Figure 1. Spirale de Manion adaptée par Landman¹⁴ au contexte français.

Figure 2. Éléments à prendre en compte pour évaluer le risque de futurs dépérissements (d'après Bréda et Peiffer⁵).

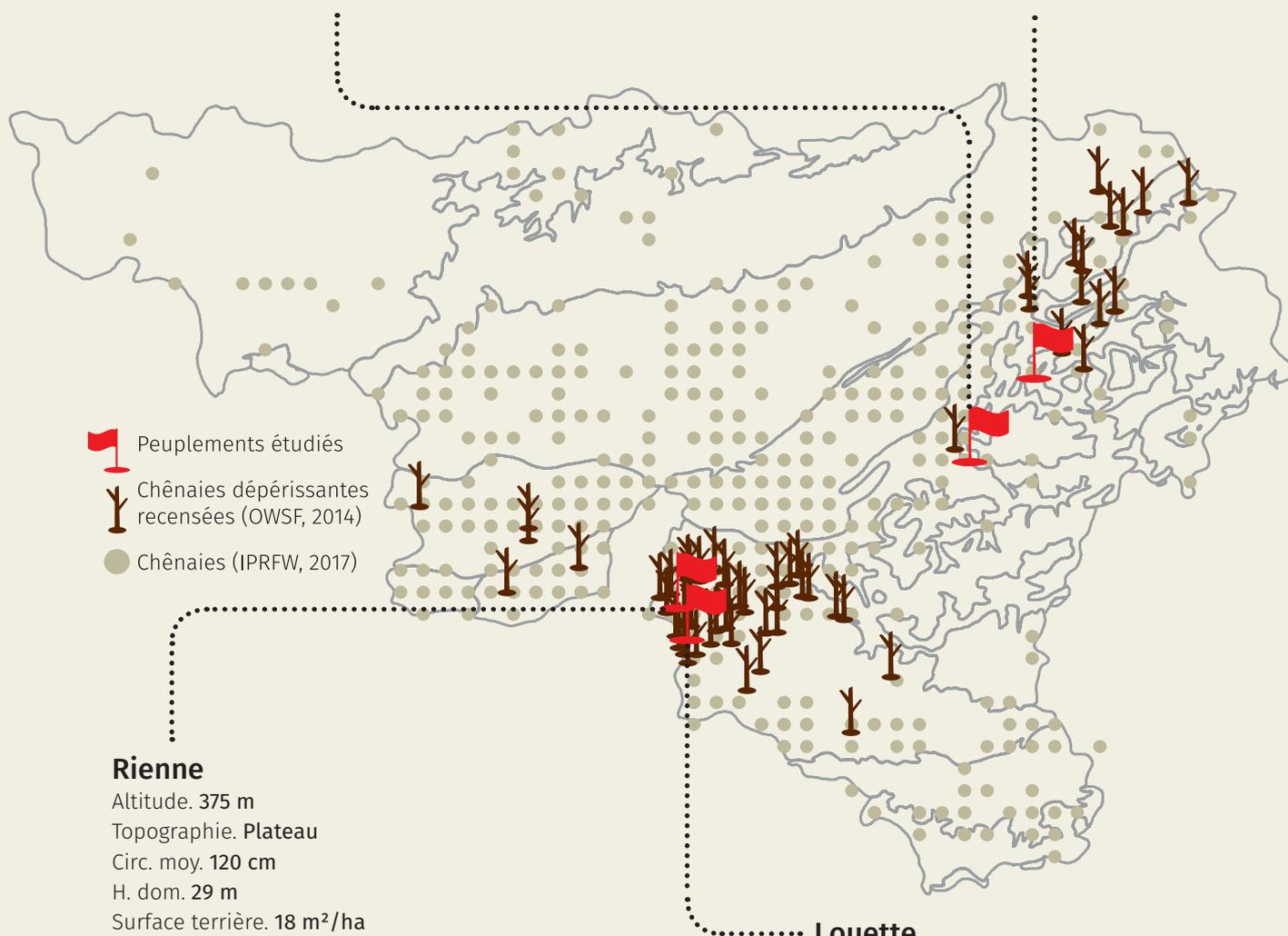


Devantave

Altitude. 500 m
 Topographie. Plateau
 Circ. moy. 114 cm
 H. dom. 24 m
 Surface terrière. 13 m²/ha
 Âge. 100 ans
 Proportion des tiges mortes. 28 %
 Type de sol. Sol brun acide présentant une charge caillouteuse importante dès 20 cm
 pH. 4,2
 Réserve utile en eau. 60 mm
 Adéquation station. Tolérance élargie

Basse-Bodeux

Altitude. 450 m
 Topographie. Haut de versant
 Circ. moy. 99 cm
 H. dom. 26 m
 Surface terrière. 24 m²/ha
 Âge. 91 ans
 Proportion des tiges mortes. 43 %
 Type de sol. Sol brun acide présentant une charge caillouteuse importante dès 20 cm
 pH. 4,4
 Réserve utile en eau. 111 mm
 Adéquation station. Tolérance élargie



-  Peuplements étudiés
-  Chênaies dépérissantes recensées (OWSF, 2014)
-  Chênaies (IPRFW, 2017)

Rienne

Altitude. 375 m
 Topographie. Plateau
 Circ. moy. 120 cm
 H. dom. 29 m
 Surface terrière. 18 m²/ha
 Âge. 87 ans
 Proportion des tiges mortes. 15 %
 Type de sol. Sol brun acide peu caillouteux
 pH. 4,4
 Réserve utile en eau. 130 mm
 Adéquation station. Tolérance

Louette

Altitude. 390 m
 Topographie. Plateau
 Circ. moy. 152 cm
 H. dom. 29 m
 Surface terrière. 26 m²/ha
 Âge. 109 ans
 Proportion des tiges mortes. 32 %
 Type de sol. Sol brun acide peu caillouteux
 pH. 4,5
 Réserve utile en eau. 160 mm
 Adéquation station. Tolérance

Figure 3. Localisation des chênaies dépérissantes recensées et des quatre peuplements étudiés, et principales caractéristiques de ces derniers (Circ. moy : circonférence moyenne à 1,30 m ; H. dom : hauteur dominante ; la réserve utile en eau indique la quantité d'eau maximale stockée par le sol et disponible pour la végétation).

nous voulions vérifier si l'affaiblissement des arbres et leur mort se situait dans la prolongation des dépérissements observés dans les années '80. Le processus s'étalerait alors sur plus de 30 ans. Afin de le vérifier, nous avons utilisé une approche dendroécologique : nous avons comparé les trajectoires de croissance d'arbres qui étaient soit sains, soit dépérissants soit morts en 2014, dans le but d'identifier à partir de quand les trajectoires des arbres morts et dépérissants se sont séparées de celles des sains. Dans un deuxième temps nous nous sommes intéressés à l'historique des aléas, afin d'identifier quels facteurs pouvaient avoir déclenché l'affaiblissement des arbres. Au vu de la vulnérabilité du chêne pédonculé aux sécheresses^{7,8}, nous nous sommes particulièrement intéressés aux sécheresses climatiques et édaphiques (sécheresse du sol). En effet, de nombreux cas de mortalités à travers le monde sont aujourd'hui associés à des sécheresses particulièrement intenses². Par ailleurs, dans le contexte des changements globaux, des sécheresses plus intenses et plus fréquentes sont à prévoir dans les prochaines décennies. Il paraît donc indispensable de pouvoir évaluer la réponse des arbres à ce type d'aléa.

Quelques mots sur le dispositif de recherche

Quatre peuplements, représentatifs du phénomène observé et de la région touchée, ont été sélectionnés. Deux sont situés en Ardenne Centro-Orientale, à proximité de Basse-Bodeux (commune de Trois-Ponts) et de Devantave (commune de Rendeux). Les deux autres sont localisés en Basse et Moyenne Ardennes, à proximité de Rienne et de Louette-Saint-Pierre (commune de Gedinne) (figure 3). Les trois premiers sont des futaies sur souches avec un mélange de chêne sessile et pédonculé, alors que le dernier est une plantation de chêne pédonculé. Âgés d'approximativement 100 ans en 2015, ces peuplements de chêne sont situés sur des plateaux ou des hauts de versants et sur des sols limono caillouteux à drainage favorable. Si l'adéquation stationnelle était à l'origine un critère important dans la sélection des peuplements, il s'est avéré impossible de trouver des peuplements situés à l'optimum selon le Fichier écologique des essences (figure 3).

En juillet et août 2015, entre 24 et 28 chênes pédonculés dominants ont été sélectionnés dans chacun des peuplements. L'espèce a été identifiée aux jumelles sur base de la morphologie des glands et des feuilles dans la partie supérieure du houppier. Nous

les avons choisis dans trois classes d'état sanitaire (sain, dépérissant, mourant), évaluées sur base des protocoles *DEPEFEU*, *Archi* et *ICP-Forests*. Seuls les arbres qui étaient classés de la même façon, indépendamment du protocole, ont été conservés dans l'échantillon. Chaque arbre a été carotté à 1,30 mètre, et après traitement des carottes au laboratoire, les largeurs de cerne, de bois initial (bois de printemps) et de bois final (bois d'été) ont été mesurées. Ces trois variables permettent d'étudier rétrospectivement la vitalité des arbres. Pour mettre en évidence ce qui est commun à l'ensemble des dépérissements, les séries dendrochronologiques des quatre peuplements ont été moyennées de façon à obtenir une courbe par état sanitaire. Les trajectoires ont été étudiées sur la période 1945-2015, qui est commune à toutes les carottes.

Les années stressantes ont été identifiées via deux indicateurs : les années caractéristiques négatives, et les crises de croissance. Les premières correspondent aux années pour lesquelles la croissance par rapport à l'année précédente diminue d'au moins 10 % pour plus de 70 % des arbres³. Les crises correspondent à des périodes de minimum 3 ans durant lesquelles la croissance annuelle est inférieure à la moyenne des largeurs de cerne des arbres sains sur la période considérée (Bréda, communication personnelle). Nous avons comparé les trajectoires en calculant notamment la perte de croissance relative des arbres dépérissants et mourants par rapport aux sains (équation 1, avec LC qui correspond à la largeur de cerne) :

Éq. 1 :

$$\text{Perte de croissance relative} = \frac{\text{LC sains} - \text{LC morts ou dépérissants}}{\text{LC sains}}$$

L'étape suivante nécessitait de caractériser les événements potentiellement stressants et de les mettre en relation avec les trajectoires de croissance. Nous nous sommes intéressés aux sécheresses, aux hivers ainsi qu'aux attaques recensées de défoliateurs sur la période 1954-2015. D'autres variables telles que les glandées et les gelées tardives ont été caractérisées, mais aucune relation significative avec le dépérissement n'a pu être mise en évidence. L'historique a été reconstruit sur base des connaissances des agents et des carnets de triage, mais aussi en utilisant des données de l'Institut Royal Météorologique (IRM), de l'OWSF, du Comptoir des graines forestières, de la littérature...

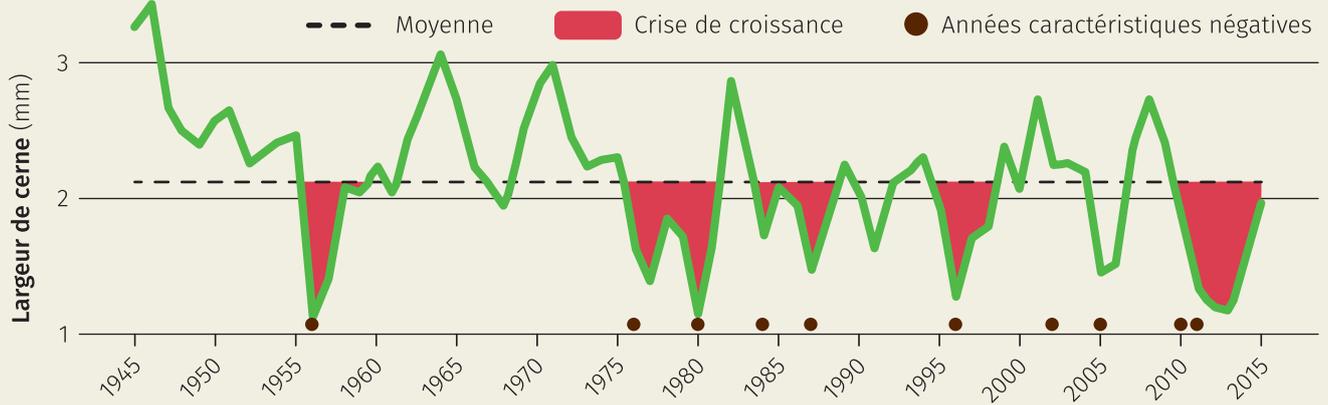


Figure 4. Identification des périodes de crise de croissance et des années caractéristiques négatives pour les chênes pédonculés sains (courbe verte, qui est la moyenne des largeurs de cerne des chênes sains des quatre peuplements). La ligne en pointillé correspond à la moyenne des largeurs de cerne sur l'ensemble de la période étudiée (1945-2015).

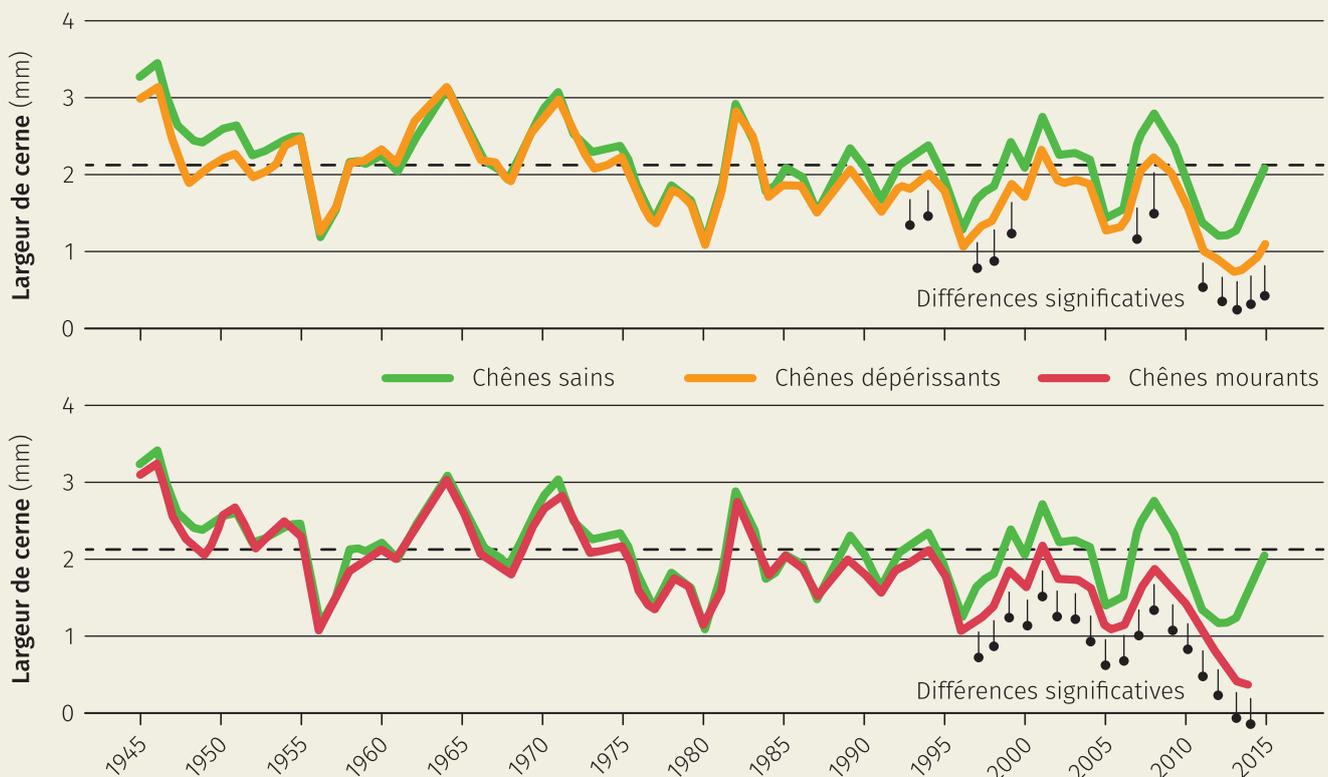


Figure 5. Comparaison de l'évolution des largeurs de cerne des chênes pédonculés sains et dépérissants en haut, et sains et mourants en bas. Pour chaque état sanitaire, la courbe est la moyenne de largeurs de cerne des arbres des quatre peuplements (différence significative au seuil de $\alpha < 0,05$ sur base du test de Wilcoxon).

Trajectoires de croissance et différences de largeur de cerne

Commençons par nous intéresser à la vitalité des chênes qui étaient sains en 2015, de façon à identifier d'éventuelles baisses de vitalité qu'ils auraient manifestées par le passé (figure 4).

Dix années caractéristiques négatives ont été répertoriées : 1956, 1976, 1980, 1984, 1987, 2002, 2005, 2010 et 2011, dont huit sont associées à des périodes de crises de croissance prolongées (plus de 3 ans de

croissance radiale inférieure à la moyenne), qui elles sont au nombre de cinq. Une première s'est déroulée entre 1956 et 1959 et une deuxième entre 1976 et 1981. Elle a été rapidement suivie par une troisième entre 1984 et 1987, puis une quatrième s'est manifestée entre 1995 et 1998 et une dernière a commencé en 2010 et n'était pas finie en 2015.

Intéressons-nous à présent aux trajectoires des arbres dépérissants et mourants. Nous observons qu'elles se superposent presque parfaitement à celle

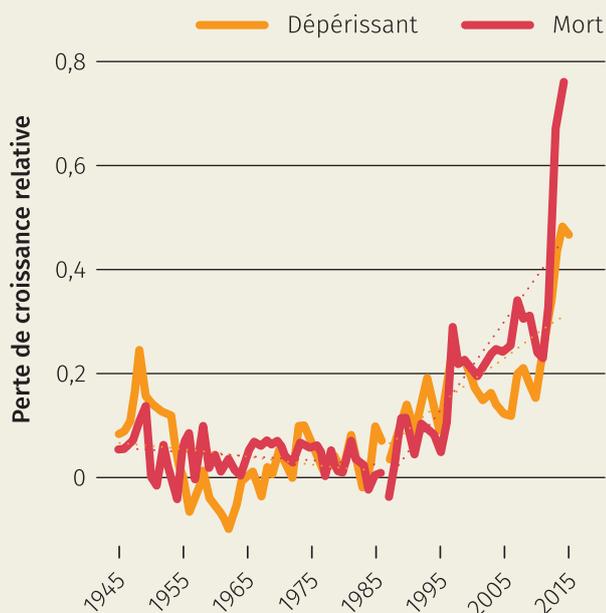
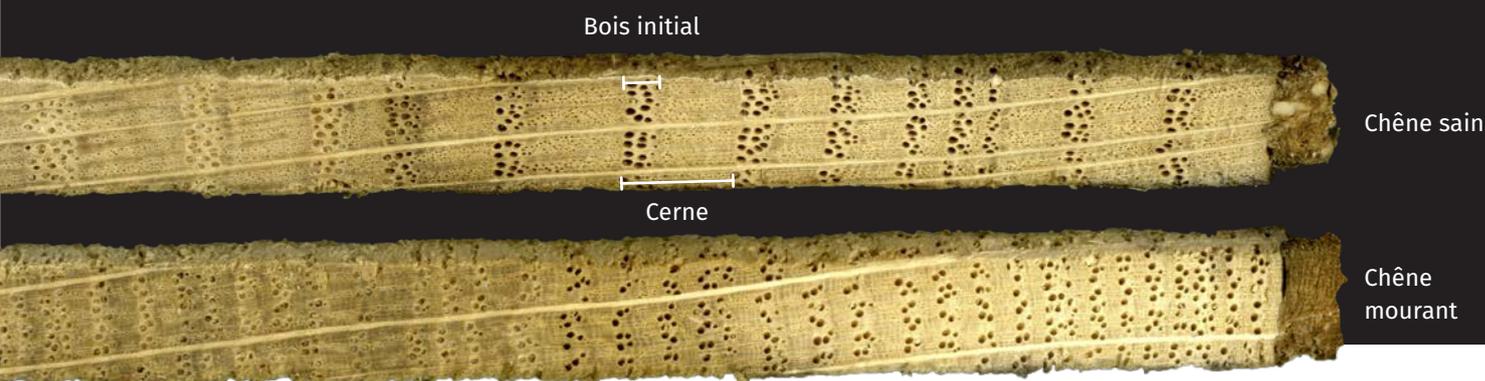


Figure 6. Perte de croissance relative des arbres dépérissants ou mourants (par rapport aux sains) au cours du temps (moyenne des arbres des quatre peuplements). La perte de croissance relative correspond à la différence de largeur de cerne rapportée à la largeur de cerne des sains (cf. équation 1).

Figure 7. Carotte prélevée sur un chêne sain, en haut, et sur un chêne mourant, en bas. Nous observons que le cerne n'est constitué que de bois initial (bois de printemps) les dernières années de vie de l'arbre mourant.



des sains jusqu'en 1987, année qui correspond à la fin de deux crises de croissance très rapprochées dans le temps (figures 5 et 6). Des mortalités importantes avaient par ailleurs été répertoriées en 1987. Les largeurs de cerne diminuent ensuite progressivement et de façon plus marquée pour les mourants que pour les dépérissants.

Remarquons par ailleurs qu'après 1987, les arbres dépérissants et mourants ne sont jamais parvenus à récupérer une croissance « normale » : elle reste systématiquement en dessous de la moyenne des sains.

Le phénomène s'est accéléré pour les dépérissants et pour les mourants à partir de 2010-2011 (figures 5 et 6), ce qui correspond à la dernière crise de croissance rencontrée par les sains. Lors de cette crise, les arbres mourants ne produisent plus que du bois initial (le bois fabriqué au printemps et qui est principalement formé de vaisseaux conducteurs de sève),

ce qui montre bien qu'ils sont à « bout de souffle » (figure 7). Chez les chênes, la conduction de l'eau dépend uniquement du dernier cerne et presque exclusivement du bois initial, qui contient des vaisseaux de grandes tailles¹². La production du bois initial est de ce fait assez constante d'une année à l'autre, et dépend des réserves carbonées de la saison de végétation précédente. Le bois final (le bois fabriqué en été et qui a surtout une fonction de soutien mécanique) est produit avec le carbone assimilé durant la saison de végétation en cours. Ainsi, pour les 3-4 dernières années de vie des arbres mourants en 2014, la croissance correspondait au minimum indispensable pour assurer la survie de l'arbre.

Au-delà d'une diminution de la croissance des arbres au cours du temps, nous avons cherché à identifier si les arbres dépérissants et mourants étaient plus touchés par les stress, en vérifiant si leur croissance était plus faible ces années-là. Il s'est avéré que tous les

arbres étaient impactés de façon similaire les années stressantes, quel que soit leur état sanitaire, mais que les mourants et les dépérissants ne sont pas parvenus à profiter des conditions environnementales des années favorables (estimées à partir de la largeur de cerne des arbres sains ; figure 8).

La perte de croissance des arbres dépérissants ou mourants (par rapport aux sains) est relativement limitée lorsque les conditions de croissance sont mauvaises mais augmente quand celles-ci s'améliorent. À partir de 2011, la même tendance s'observe si ce n'est que la perte de croissance est beaucoup plus importante et se marque même lors des années de faible croissance pour les sains (figure 8).

Les stress rencontrés entre 1976 et 1987 ont durablement affecté la capacité de récupération de certains arbres. Cela les a rendus moins aptes à profiter des années favorables pour reconstituer leurs réserves et donc plus vulnérables aux stress suivants.

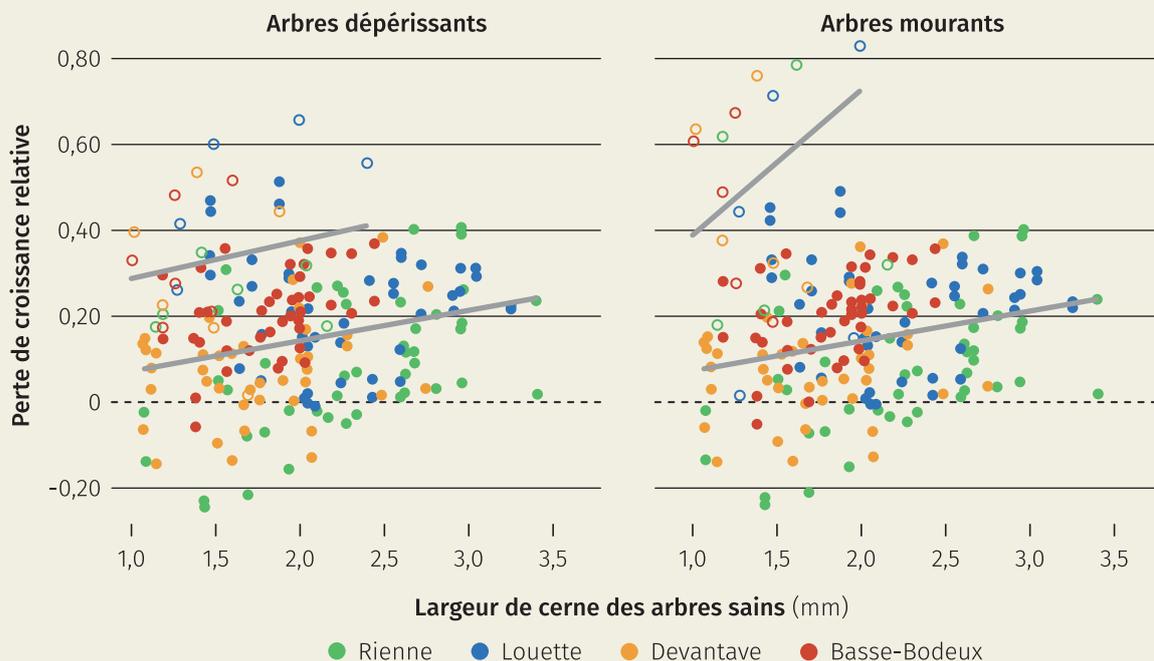
Quels facteurs ont provoqué l'affaiblissement ?

En ce qui concerne l'identification des aléas à l'origine de l'affaiblissement des arbres, nous les avons étudiés indépendamment les uns des autres dans un premier temps (figure 9).

Les attaques de chenilles ont l'impact le plus clair sur la croissance. Les quatre attaques de chenilles répertoriées (1980, 1995-1996, 2005, 2011-2013) sont toutes associées à des années caractéristiques négatives et la récente vague de mortalité a été précédée par trois années d'attaques sévères de chenilles défoliatrices. Les hivers affectent également la vitalité des arbres. Cinq des six années les plus froides (1956, 1985, 1986, 1987 et 2010) sont associées à des crises de croissance et à des années caractéristiques négatives.

L'impact des sécheresses est par contre moins facile à mettre en évidence. Afin de caractériser les sécheresses climatiques, nous avons calculé un indice standardisé du déficit hydrique climatique, le « *Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index* » soit le SPEI²². Il correspond à la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration (P-ETP). Lors de son calcul, nous avons distingué deux types de sécheresses. Celles qui ont lieu entre mai et juillet et celles qui se déroulent entre août et octobre. Plusieurs études ont en effet montré que des sécheresses en début de saison de végétation affectaient la croissance l'année même, alors que celles en fin de saison ont un impact sur le cerne l'année suivante. Cependant, sur base d'une étude de corrélation, il s'est avéré que dans notre étude, les deux types de sécheresses climatiques avaient un impact différé et affectaient la croissance seulement l'année suivante.

Figure 8. Perte de croissance relative (équation 1) des arbres dépérissants (à gauche) et des arbres mourants (à droite) par rapport aux arbres sains, représentée en fonction de la croissance des arbres sains (largeur de cerne). Les points correspondant à la fin de la série chronologique (> 2010) ont été représentés différemment (symboles vides) du fait leur comportement particulier. Les régressions linéaires avant et après 2010 sont représentées par les droites grises.



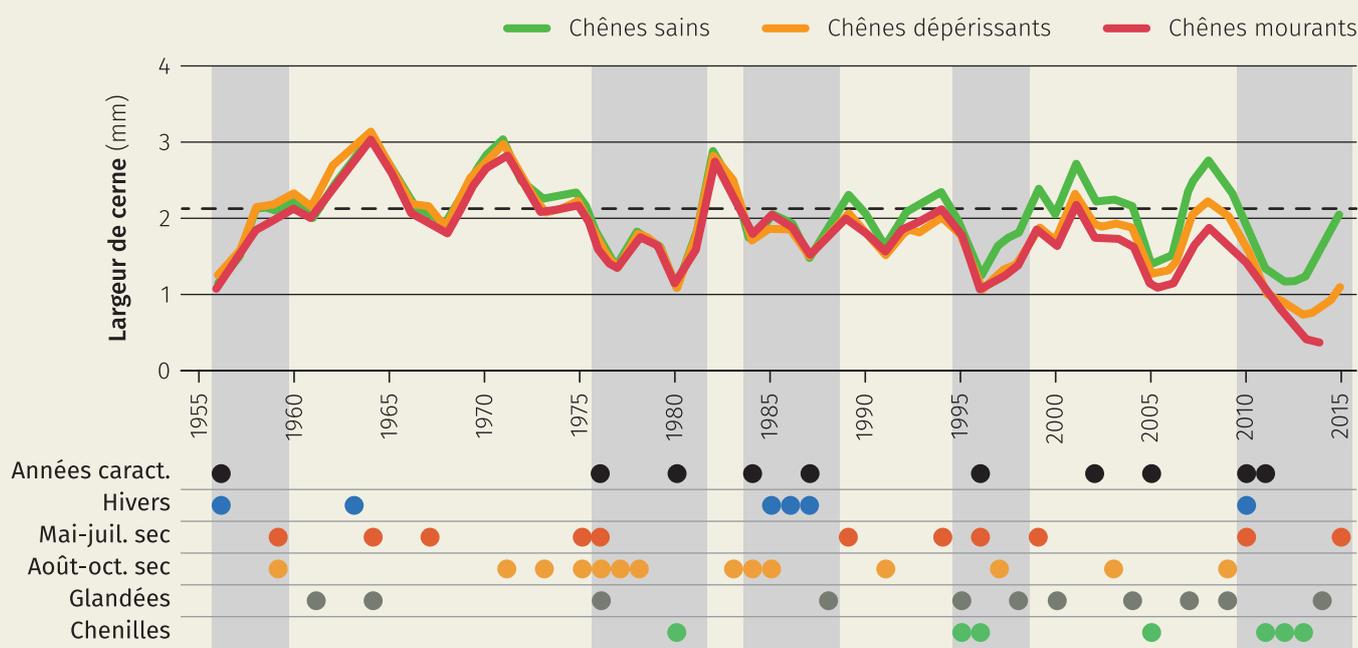


Figure 9. Trajectoire de croissance des chênes pédonculés sains, dépérissants et mourants (moyenne des largeurs de cernes des arbres des quatre peuplements). La ligne en pointillé correspond à la moyenne de largeur de cerne des arbres sains et permet d'identifier les crises de croissance pour ces derniers (en grisé dans le tableau). Les années caractéristiques négatives indicatrices de stress sont également reprises. Les 10 % des hivers les plus froids ont été identifiés, ainsi que les périodes de sécheresse pour la première et la deuxième moitié de la saison de végétation sur base d'un indice standardisé de P-ETP (SPEI). Finalement, les années de fortes glandées ou de fortes attaques de chenilles ont été répertoriées.

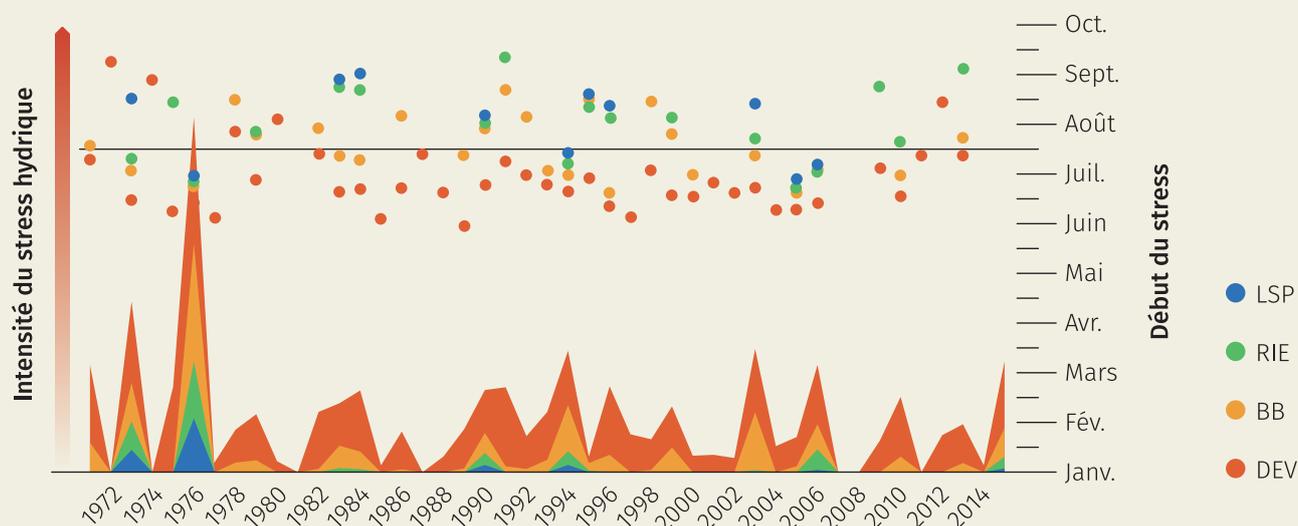


Figure 10. Cumul des indices de stress hydriques du sol mesurés avec *Biljou* pour chacun des peuplements (axe vertical gauche) et jour de début du stress hydrique (points ; axe vertical droit). La ligne noire indique la limite du 15 juillet.

En complément de l'indice de stress hydrique climatique, nous avons calculé pour chaque site un indice de stress hydrique du sol, en utilisant le modèle *Biljou*¹³. Cet indice reflète mieux le stress expérimenté par les arbres et permet une caractérisation fine des sécheresses (figure 10). En Ardenne, seule la

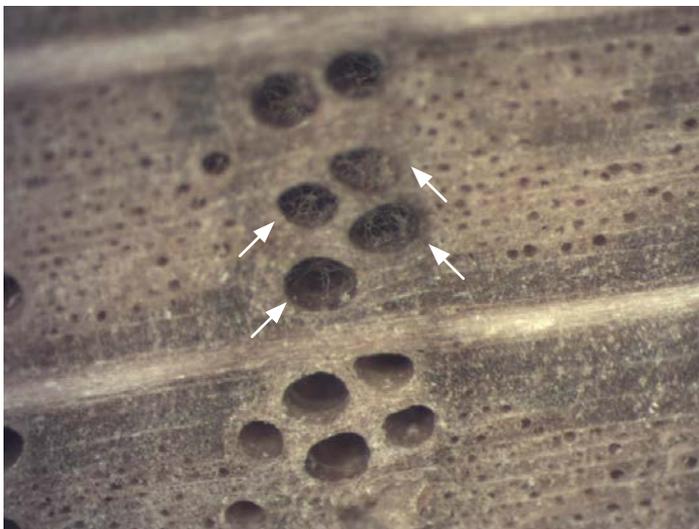
sécheresse de 1976 a atteint un seuil qui est considéré comme critique pour les arbres (année caractéristique très négative) (figure 9). D'autres sécheresses se sont produites fréquemment, mais d'intensité plus faible. Par ailleurs, dans tous les peuplements, excepté Devantave, les sécheresses débutent presque ex-

clusivement dans la seconde moitié de la saison de végétation et sont de faibles intensités. Notons que la capacité du sol à stocker de l'eau utile pour les arbres est faible à Devantave (60 mm) et qu'elle est plus élevée à Rienne (130 mm) et Louette-Saint-Pierre (160 mm). Un sol avec une bonne réserve en eau permet de limiter ou de différer l'effet d'une sécheresse climatique. Malgré que les sécheresses soient d'intensité faible, sept années caractéristiques négatives sur les dix observées (1976, 1980, 1984, 1987, 1996, 2005, 2010 et 2011) sont précédées par une ou plusieurs années de sécheresse, ce qui illustre l'impact de ces stress sur la croissance radiale.

Les facteurs aggravants

Les facteurs aggravants de la spirale de Manion n'ont pas été spécifiquement étudiés. Des structures mycéliennes ont néanmoins été retrouvées dans les vaisseaux du bois initial pour plus de 90 % des carottes des arbres mourants (figure 11). Dans les premières études sur les dépérissements, l'attention a été portée sur les mycoses vasculaires de type *Ophiostoma* qui, en Europe de l'Est, étaient considérées comme un facteur important de dépérissement⁷. En Belgique, la présence de mycoses de type *Verticillium* a été relevée sur des chênes fortement dépérissants dans une étude exploratoire¹⁰. Il est apparu par la suite que ces types de mycoses étaient un facteur aggravant, et s'attaquaient à des arbres fortement affaiblis.

Figure 11. Structures mycéliennes observées sur une carotte d'un arbre mort (observation réalisée au binoculaire).



Par ailleurs, sur près de 50 % des arbres mourants en 2014, nous avons observé des tyloses qui bouchaient tous les vaisseaux. Les tyloses sont des occlusions de vaisseaux produites par l'arbre pour limiter l'embolie ou pour se défendre d'attaques biotiques affectant son système conducteur²¹. La combinaison des filaments mycéliens et des tyloses a très probablement limité la conduction de l'eau à travers le xylème et a contribué à la mort des arbres.

Vers une compréhension globale du phénomène

La première crise de 1956 a été générée par un hiver particulièrement rigoureux entre 1955-1956. Les conditions environnementales des années qui suivent étant favorables, les arbres ne sont pas durablement affectés par ce stress et parviennent à récupérer. Par contre, entre 1976 et 1987 la succession de sécheresses (1975-1978, 1983-1985), d'attaques biotiques (1980) et d'hivers froids (1985-1987) a été particulièrement défavorable, et a généré des dépérissements et des mortalités. Suite à cette succession de stress, certains arbres ayant survécus ne sont par la suite plus parvenus à profiter de conditions environnementales favorables pour reconstituer leur stock de carbone (via la photosynthèse). Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer pourquoi certains arbres dépérissent et d'autres pas : la génétique, des variables micro-stationnelles, un changement dans la structure du peuplement suite aux mortalités de 1987...

Chaque combinaison « sécheresse - attaque de chenille » a ensuite un peu plus affaibli les arbres les plus vulnérables (1994-1996 et 2003-2005). Ces arbres seraient alors devenus sensibles à des mycoses vasculaires, connues pour être un facteur aggravant qui affecte la conduction de l'eau. La dernière sécheresse combinée à un hiver rigoureux et à des attaques de chenilles associées à l'oidium (2010-2014) a finalement été fatale à un certain nombre d'entre eux. Actuellement, aucun critère (dendrométrique, architectural etc.) n'a pu être identifié pour discriminer les arbres qui se sont avérés plus vulnérables. Certains travaux récents interpellent, en montrant que dans certains cas, les arbres dépérissants et morts étaient plus vigoureux antérieurement en termes de croissance et d'utilisation de l'eau^{24, 26}. Les arbres qui présentent des traits anatomiques et physiologiques qui soutiennent un comportement dépensier en eau deviendraient plus vulnérables en conditions inédites de stress sévère¹⁵, n'ayant pas « investi » en mécanismes de défense, et devant soutenir le métabolisme d'une biomasse importante.

Au vu de l'intervalle de temps sur lequel se déroule le phénomène (près de 30 ans dans ce cas), le gestionnaire peut être surpris lorsque la mort survient : l'évènement qui cause la mort de l'arbre n'est en effet pas nécessairement spectaculaire et son impact ne peut être compris que lorsqu'il est intégré dans la suite de stress plus anciens. L'histoire de l'arbre est donc un facteur important dans les dépérissements, puisqu'ils gardent en mémoire les stress passés via des altérations de leur système conducteur, une diminution des réserves carbonées et des modifications de leur stratégie d'allocation du carbone (entre réparation des tissus endommagés, entretien, croissance et défense). Bien sûr, des arbres soumis à des stress prédisposants et incitants, peuvent, selon leur vigueur résiduelle et si les conditions sont favorables pendant quelques années, entrer dans une phase de récupération.

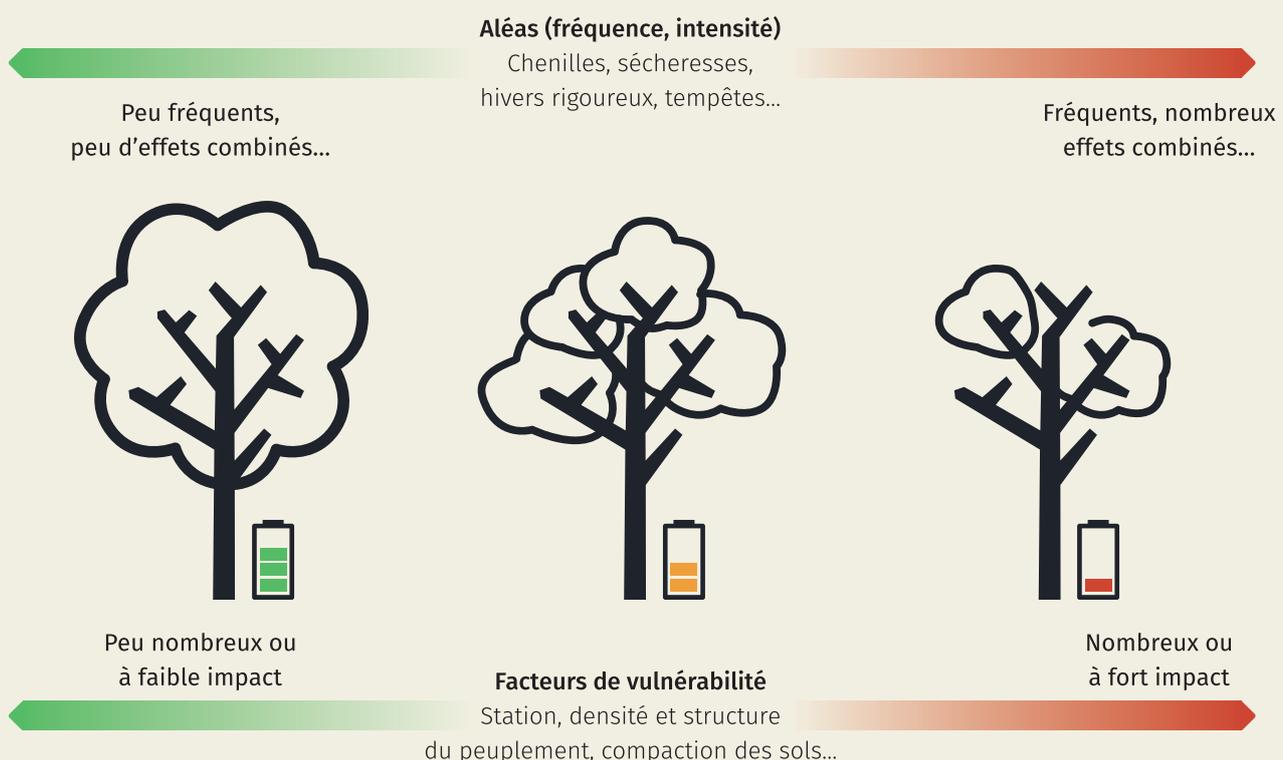
Outre l'intensité de chaque aléa, la façon dont ils se succèdent et la fréquence avec laquelle ils reviennent doivent être prises en compte pour comprendre le processus de dépérissement (figure 12).

Au niveau de la succession des aléas, à titre d'exemple, intéressons-nous au rôle des sécheresses. D'une part,

elles peuvent affecter le cycle des chenilles et sont, par exemple, favorables aux attaques de bombyx disparate (*L. dyspar*) l'année suivante²³. D'autre part, en limitant la photosynthèse, elles réduisent la quantité de carbone assimilée et diminuent alors la résistance au froid, ce qui rend l'arbre plus sensible aux conditions hivernales¹⁹. Par ailleurs, il a été montré que les sécheresses sont favorables à une fructification importante l'année suivante¹⁸. Les glandées (qui sont reprises à la figure 9), mobilisent une quantité importante de carbone et, comme les sécheresses, rendent alors les arbres plus vulnérables aux chenilles et aux hivers rigoureux subséquents. Le même type d'évènement climatique est donc favorable aux chenilles et aux glandées, et la combinaison des trois aléas génère probablement un stress très important pour l'arbre.

Un autre élément clé dans la compréhension du processus est de pouvoir évaluer le niveau de vulnérabilité d'un arbre ou d'un peuplement face à un aléa à un moment donné. Par exemple, les arbres ont été plus résistants face à l'hiver rigoureux de 1956 comparé à celui de 1987. Le premier avait été plus intense, mais il a touché des arbres a priori peu vulnérabilisés. Ceci permet de mieux comprendre comment un ou plu-

Figure 12. Notions clés pour appréhender un dépérissement. Du côté gauche, l'arbre sain, et de l'autre, l'arbre mort. Un arbre passe progressivement d'une situation à l'autre selon trois variables : les aléas, les facteurs de vulnérabilité et l'état de santé actuel de l'arbre (d'après Bréda et Peiffer⁵, et Whyte et al.²⁵).



sieurs aléas, qui n'avaient pas causé de mortalité par le passé, peuvent devenir problématiques à un moment donné dans la vie du peuplement.

Et le gestionnaire dans tout ça ?

Les facteurs impliqués dans les dépérissements de chêne sont nombreux et leurs multiples interactions se complexifient, générant de l'incertitude quant à leurs impacts. Dans un contexte de dépérissement, hormis les situations critiques impliquant un plan de crise, le gestionnaire peut agir de différentes façons. Il peut agir sur certains facteurs prédisposants (adéquation stationnelle, origine du peuplement, âge des arbres et densité, limitation du tassement des sols...) et adapter sa gestion afin d'augmenter la résilience du peuplement. Pour ce qui est de préparer les peuplements à des sécheresses, si l'on ne peut agir directement sur le climat, il est possible d'agir à différents niveaux. Au moment du passage en coupe (le dépérissement n'étant pas contagieux, et le bois de chêne ne se dégradant pas très rapidement, il ne nécessite pas de coupes sanitaires), il faut organiser une exploitation des arbres respectueuse de la structure des sols et favorisant le stockage et la circulation de l'eau dans celui-ci. La sylviculture doit être dynamique, correspondant au tempérament du chêne, les éclaircies en faveur de l'espèce la plus adaptée à la station (chêne sessile vs chêne pédonculé), etc. Pour ce qui est des chenilles, il est indispensable de poursuivre le suivi de leurs attaques. À ce titre les observations de l'OWSF sont précieuses. Par ailleurs, afin d'augmenter le temps entre deux attaques de chenilles, certains auteurs préconisent d'augmenter la capacité d'accueil des prédateurs des chenilles, via par exemple l'irrégularisation des peuplements, ce qui est favorable aux oiseaux⁴. D'autres éléments ont été développés dans une note de gestion rédigée par l'OWSF et ses partenaires et parue dans un numéro précédent de Forêt.Nature⁶.

Une question pertinente à poser est celle de l'héritage des dépérissements. Un indicateur robuste est l'augmentation de la mortalité, qui affecte les services écosystémiques fournis par la forêt et les fonctions de celle-ci. Les dépérissements, même une fois les arbres morts évacués, ont des conséquences à long terme sur les propriétés de l'écosystème (biomasse ligneuse diminuée, biodiversité modifiée, etc.). En effet, il faut des décennies avant de remplacer un arbre mort dans ses dimensions et fonctions^{17,20}. Il est donc essentiel de détecter des seuils potentiellement dangereux de déclin dans la santé des forêts et d'en comprendre les causes. ■

Bibliographie

- ¹ **ACRVF** (2017). *Fichierécologique.be*. Accord-cadre de recherches et vulgarisation forestières (SPW-DNF, UCL-ELIe, ULg-GxABT, Forêt Wallonne asbl). 
- ² **Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., Mcdowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Bre-shears D.D., Hogg E.H. et al.** (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259(4) : 660-684.
- ³ **Becker M.** (1989). The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of northeastern France. *Canadian Journal of Forest Research* 19 : 1110-1117.
- ⁴ **Berezcki K., Ódor P., Csóka G., Mag Z., Báldi A.** (2014). Effects of forest heterogeneity on the efficiency of caterpillar control service provided by birds in temperate oak forests. *Forest Ecology and Management* 327 : 96-105.
- ⁵ **Bréda N., Peiffer M.** (2014). Vulnerability to forest decline in a context of climate changes: new prospects about an old question in forest ecology. *Annals of Forest Science* 71(6) : 627-631.
- ⁶ **Delahaye L., Claessens H., Losseau J., Cordier S., Herman M., Lisein J., Chandelier A., Vincke C.** (2016). Entre valorisation, conservation et dépérissement : la gestion de nos chênaies à la croisée des chemins. *Forêt.Nature* 140 : 59-68. 
- ⁷ **Delatour C.** (1983). Les dépérissements des chênes en Europe. *Revue Forestière Française* 265(4) : 265-282. 
- ⁸ **Dubois-Coli C., Nageleisen L.-M., Bréda N.** (2006). Suivi d'un massif forestier très sensible à la sécheresse : l'observatoire de la Harth, historique et perspectives. *Revenez-vous techniques ONF* 13 : 85-92. 
- ⁹ **Durand V., Thierron V.** (1997). Waldsterben ! La forêt sous haute surveillance. *Forêt Wallonne* 30 : 3-15. 
- ¹⁰ **Galoux D., Dutrecq A.** (1990). Le dépérissement du Chêne. À propos des mortalités récentes des chênes pédonculé et sessile en Hesbaye, en Condroz et en Ardenne convinoise. *Forêt Wallonne* 7 : 3-8. 
- ¹¹ **Gillet A., Morelle K., Claessens H.** (2007). Peut-on se prémunir contre le dépérissement du chêne ? *Forêt Wallonne* 88 : 3-12. 
- ¹² **Granier A., Anfodillo T., Sabatti M., Cochard H., Dreyer E., Tomasi M., Valentini R., Bréda N.** (1994). Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis. *Tree Physiology* 14(12) : 1383-1396.
- ¹³ **Granier A., Bréda N., Biron P., Villette S.** (1999). A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological Modelling* 116(2-3) : 269-283.
- ¹⁴ **Landmann G.** (1994). Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. *Revue Forestière Française* 46 : 405-415. 

- ¹⁵ **Levanič T., Čater M., McDowell N.G.** (2011). Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology* 31(3) : 298-308.
- ¹⁶ **Nageleisen L.-M.** (1994). Dépérissement actuel des chênes. *Revue Forestière Française* 46(5) : 7. **W**
- ¹⁷ **O'Grady A.P., Mitchell P.J.** (2015). Looking forward, looking back: Capturing drought in flagrante delicto and uncovering its broader consequences for forest ecosystems. *Tree Physiology* 35(8) : 803-805.
- ¹⁸ **Övergaard R., Gemmel P., Karlsson M.** (2007). Effects of weather conditions on mast year frequency in beech (*Fagus sylvatica* L.) in Sweden. *Forestry* 80(5) : 555-565.
- ¹⁹ **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(4-5) : 277-307.
- ²⁰ **Trumbore S., Brando P., Hartmann H.** (2015). Forest health and global change. *Science* 349(6250) : 814-818.
- ²¹ **Vansteenkiste D., Tirry L., Acker J.V., Stevens M.** (2004). Predispositions and symptoms of *Agrilus* borer attack in declining oak trees. *Ann. For. Sci.* 61(8) : 815-823.
- ²² **Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I.** (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate* 23(7) : 1696-1718.
- ²³ **Villemant C., Fraval A.** (1998). *Lymantria dispar* en Europe et en Afrique du Nord. In : INRA (Editor), Protection intégrée des forêts à *Quercus* spp. *Courrier de l'INRA*, Salé (Maroc).
- ²⁴ **Voltas J., Camarero J. J., Carulla D., Aguilera M., Ortiz A., Ferrio J. P.** (2013). A retrospective, dual-isotope approach reveals individual predispositions to winter-drought induced tree dieback in the southernmost distribution limit of Scots pine. *Plant, Cell and Environment* 36(8) : 1435-1448.
- ²⁵ **Whyte G., Howard K., Hardy G.E.S.J., Burgess T.I.** (2016). The Tree Decline Recovery Seesaw; a conceptual model of the decline and recovery of drought stressed plantation trees. *Forest Ecology and Management* 370 : 102-113.
- ²⁶ **Wyckoff P.H., Clark J.S.** (2002). The relationship between growth and mortality for seven co-occurring tree species in the southern Appalachian Mountains. *Journal of Ecology* 90(4) : 604-615.
- ²⁷ **Focant A., Malaisse F.** (2001). Dépérissement du chêne en Wallonie : état de la question. *Forêt Wallonne* 49-50 : 17-35. **W**
- ²⁸ **Lemaire J.** (2010). *Le chêne autrement*. IDF-CNPF, 176 p.

Cette recherche a été menée grâce aux financements de l'Accord-cadre de recherches et de vulgarisation forestières. Les prélèvements sur le terrain ont été effectués avec l'aide de F. Hardy, O. Bouchez, F. Plume et T. Thyriion. Nous remercions l'Observatoire Wallon de la Santé des Forêts pour son aide précieuse dans la recherche de

POINTS-CLEFS

- ▶ Des dépérissements importants de chêne pédonculé, associés à de fortes mortalités, ont été observés en Ardenne en 2014.
- ▶ Le processus d'affaiblissement des arbres aujourd'hui morts ou fortement dépérissants a débuté au milieu des années '80.
- ▶ Deux groupes d'aléas ont affecté la vitalité des chênes : les hivers rigoureux d'une part et les attaques de chenilles précédées de sécheresses et de glandées d'autre part.

peuplements dépérissant. Nous remercions N. Bréda (INRA) pour ses conseils dans l'interprétation des résultats. Nous remercions également l'IRM et le Service public de Wallonie pour nous avoir fourni des données climatiques. Finalement, nous remercions chaleureusement les cantonnements DNF de Beauraing, La Roche-en-Ardenne et Spa pour leur collaboration.

Crédits photos. OWSF (p. 35).

Julie Losseau
Mathieu Jonard
Hugues Titeux
Caroline Vincke

caroline.vincke@uclouvain.be

Environmental Sciences, Earth and Life Institute (UCL)
Croix du Sud 2 L7.05.09 | B-1348 Louvain-la-Neuve



ACCORD-CADRE RECHERCHES
ET VULGARISATION FORESTIÈRES

