

Altération du bois d'épicéa commun par le fomes en France : analyse et synthèse des observations effectuées sur 337 placettes (2016-2019)

Contexte

Le fomes est une maladie des résineux causée par le champignon basidiomycète *Heterobasidion* sp. qui provoque des pourritures racinaires et du bois de cœur ainsi que des dépérissements, des réductions de croissance et des mortalités disséminées ou en rond. Trois espèces du pathogène sont présentes en France, *H. annosum* s.s., *H. parviporum* et *H. abietinum*. Les genres *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Larix*, *Pseudotsuga* sont sensibles à des degrés divers selon les espèces du pathogène.

Parmi les pourridiés racinaires, c'est une des maladies forestières les plus répandues dans le monde causant des pertes économiques considérables dans l'hémisphère nord. Des dégâts importants et des mortalités sont notamment signalés sur le pin maritime dans les Landes de Gascogne ou le pin sylvestre en Scandinavie. Le fomes se dissémine par vol de spores qui pénètrent et colonisent les arbres par 2 portes d'entrée : principalement, les souches d'arbres fraîchement coupées sur lesquelles se développe le mycélium qui peut, après quelques années, contaminer les arbres voisins par contact racinaire, et secondairement les blessures au collet et sur les racines superficielles dues aux engins d'abattage ou de débardage lors des éclaircies (consulter la fiche [Ephytia](#)). Les carpophores du champignon se développent surtout sur les souches en dégradation. Un traitement préventif efficace à l'aide d'un champignon concurrent ([Rotstop](#)[®] contenant le champignon *Phlebiopsis*, homologué en France) est proposé pour prévenir et lutter contre la prolifération du fomes et sa fructification sur les souches après éclaircie ou coupe rase et donc pour limiter l'impact de la maladie.

L'agent pathogène *Heterobasidion* sp. n'est pas létal pour les plantations d'épicéa commun mais il provoque des colorations et des pourritures du bois de cœur et une dégradation du système racinaire. Cette dégradation racinaire ralentit la croissance des arbres et les rend plus vulnérables aux coups de vents (chablis) et à la sécheresse. Une purge de la base de la grume altérée est parfois nécessaire lors de leur exploitation. Une enquête à large échelle spatiale a donc été menée pour estimer la fréquence des altérations de bois de cœur ainsi que la sévérité de la maladie dans les plantations d'épicéa commun hors de son aire naturelle.



A gauche, sporophore de *Heterobasidion* sp. sur souche d'épicéa (C. Husson) et, à droite, houppier avec déficit d'aiguilles jaunissantes en cime (O. Baubet).

De 2016 à 2019, 337 plantations d'épicéa pures (en général d'une surface de 1,5 ha ou plus) dans lesquelles une coupe rase ou une coupe d'éclaircie a eu lieu l'année n ou n-1 ont été enquêtées pour évaluer les dégâts sur les souches « fraîches ». Ces plantations sont situées dans les grandes régions écologiques (GRECO) à fort enjeu économique pour l'épicéa commun comme le Massif central (155 placettes), les Vosges (69), le Grand Est semi-continental (62) et dans le Jura (11). Enfin 32 plantations ont été enquêtées en Wallonie (figure 1). Les pessières du massif alpin et du jura considérées comme naturelles n'ont pas été enquêtées.

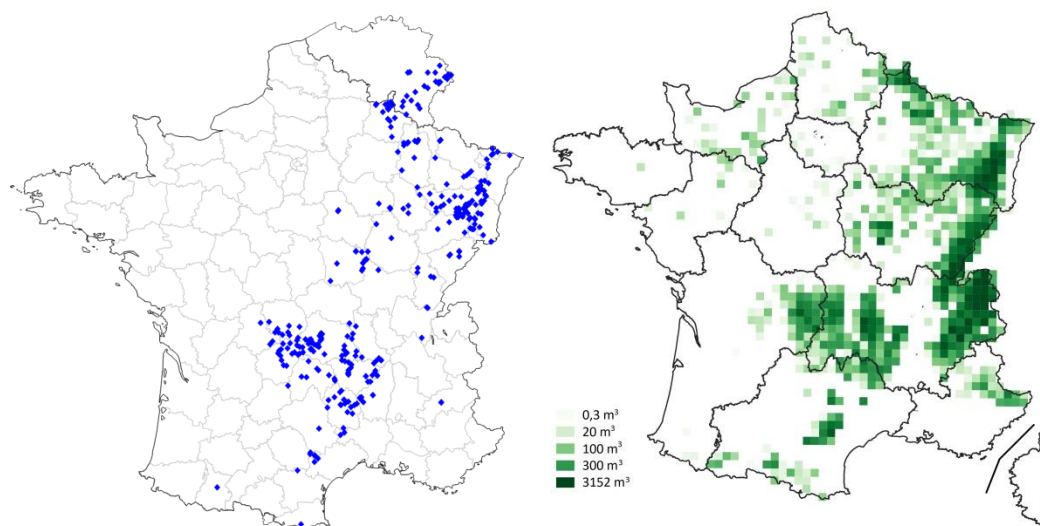


Figure 1 : à gauche, localisation des 337 placettes de l'enquête fomes/Epicéa ; à droite, densité en épicéa commun en milliers de m3 par quadrat de 16x16 km (source IGN)

Chaque plantation constitue une placette de notation où environ 100 souches ont été notées, dans la mesure du possible, par grappes de 10 souches distantes de 50 m. L'altération des souches a été évaluée selon le barème suivant :

Pourcentage de surface atteinte	Souche saine	Bois mou mais encore résistant	Bois mou voire creux sans résistance
0 %	0		
inférieur à 10 %		A	B
10 à 25 %		B	C
26 à 50 %		C	D
supérieur à 50 %		D	D



Répartition de l'agent pathogène et de son impact

Au total, 33627 souches ont été notées sur les 337 placettes de l'inventaire. 80% des souches étaient saines et 20% altérées, avec 4 à 6 % des souches pour chacune des notes A, B, C et D (figure 2, à gauche).

Cependant, le fomes est bien présent dans toutes dans les régions inspectées : 297 placettes (88%) présentaient au moins un arbre infecté (figure 2, à droite) et la moitié des placettes ont plus de 10% de souches dégradées. Les placettes très fortement touchées (plus de 50 % des souches atteintes) représentent 10% de l'effectif total. Le fomes affecte donc assez massivement les plantations d'épicéas.

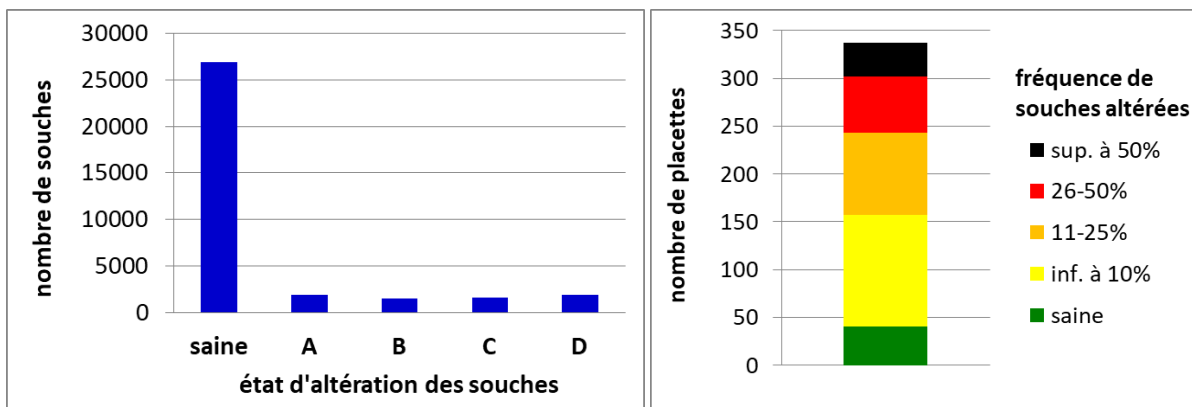


Figure 2 : à gauche, répartition du niveau d'altération des 33627 souches ; à droite, fréquence de souches altérées dans les 337 placettes.

Des disparités géographiques sont assez marquées (figure 3). En effet, 25% des souches sont altérées dans la région Massif central, 13% dans le Grand est semi-continentale et le Jura et 9% dans les Vosges. Dans le Massif central, un tiers des placettes ont un taux de souches infectées supérieur à 25%. Globalement, les plaines de Lorraine sont les plus épargnées par la maladie. La région wallonne présente le taux de maladie le plus élevé avec 35% de souches altérées.

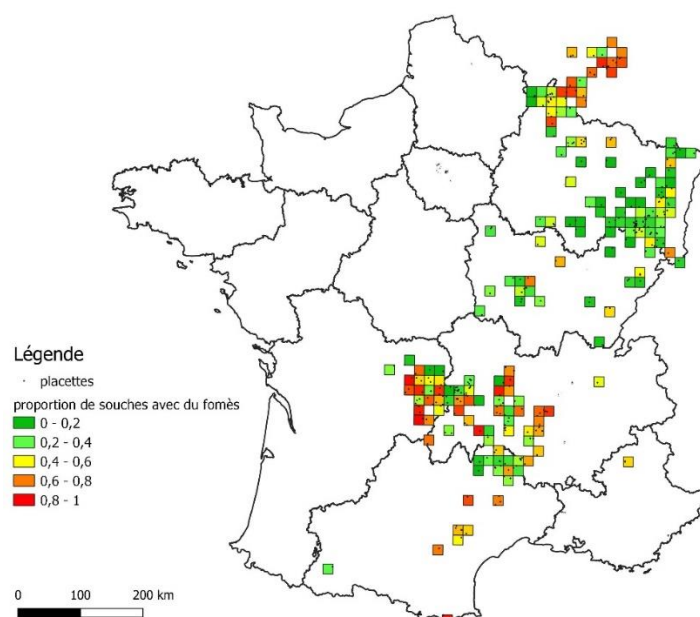


Figure 3 : proportion de souches altérées par le fomes par quadrat 16 x 16 km.

Méthodologie de l'analyse des données

Les données ont été analysées en utilisant l'apprentissage machine (machine learning) par la méthode des forêts d'arbres de décisions. Avec cette méthode, l'ordinateur « apprend » grâce aux données fournies afin de constituer un modèle sans *a priori*. Cette méthode est souple et permet d'obtenir des modèles impossibles à réaliser par d'autres méthodes plus classiques. La proportion de souches altérées (classées en A, B, C ou D) dans les grappes (10 arbres) ou dans les placettes (100 arbres) a été choisie comme variable à expliquer. Sans avoir un accès direct au modèle, la méthode d'analyse fournit une hiérarchisation des variables explicatives (figure 4). En utilisant en complément des graphiques de dépendance partielle (pdp) qui représentent pour une variable donnée les valeurs prédites par le modèle pour la variable à expliquer, nous avons déterminé les variables qui expliquent le mieux la fréquence du fomes pour en ressortir des facteurs de vulnérabilité des plantations d'épicéas.

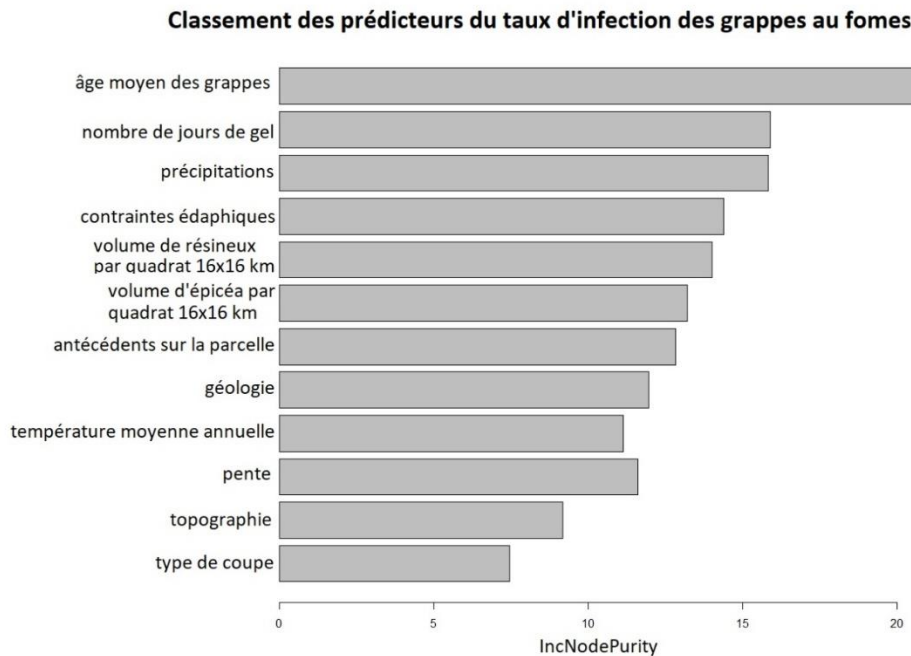


Figure 4 : hiérarchisation des variables du modèle. L'importance des variables explicatives est corrélée à la valeur de l'axe des abscisses.

En plus de la fréquence de souches altérées, un indice de sévérité a été calculé dans les placettes où le fomes est présent. L'indice de sévérité s'exprime sur une échelle de 0 à 100 et est égal à : $(\% \text{ tiges atteintes} \times \text{sévérité}^2) / 16$, avec une sévérité de 0 (souche saine) à 4 (souche D). Cet indice n'a pas été retenu parmi les variables à expliquer mais est présenté dans les figures suivantes.

Facteurs de vulnérabilité

Conjointement, l'âge des plantations et le diamètre des arbres sont corrélés positivement à l'impact de la maladie. Les arbres de plus de 40 ans ou d'un diamètre supérieur à 30 cm sont les plus touchés en termes de fréquence et de sévérité dans la placette (figure 5). L'affection par le fomes est un processus lent qui affaiblit les arbres et dégrade le bois progressivement. Chez l'épicéa commun, seuls les arbres les plus âgés sont ainsi sévèrement atteints.

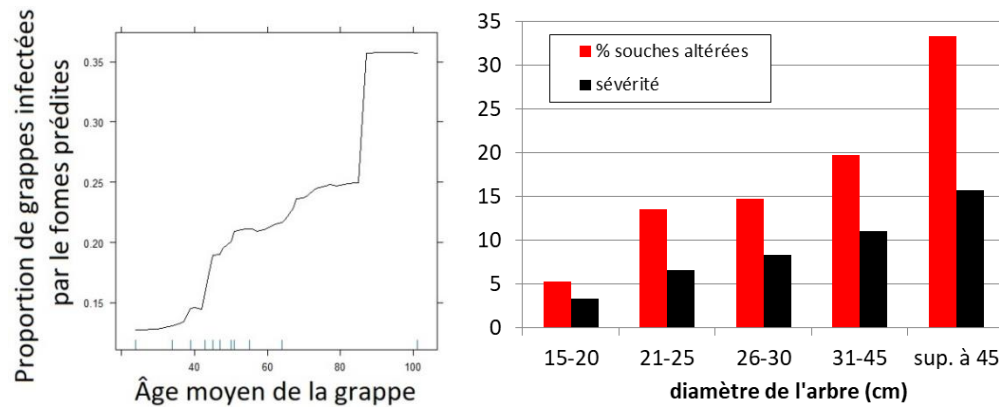


Figure 5 : impact du fomes en fonction de l'âge (à gauche, prédiction de la fréquence de souches altérées) et du diamètre (à droite) des arbres.

Parmi les placettes enquêtées, celles situées dans le Limousin, les Ardennes et la Wallonie sont significativement les plus touchées par le fomes (figure 3). L'analyse des variables climatiques annuelles, calculées à partir des données SAFRAN pour les 25 dernières années, montre que les régions avec des précipitations inférieures à 900 mm par an, un nombre de jours de gel inférieur à 20 par an et une température moyenne supérieure à 10°C sont les plus favorables au fomes, c'est-à-dire un climat de type océanique / semi-continentale qui caractérise globalement les régions citées ci-dessus (figure 6). Le froid hivernal ou les excès de chaleur en été sont en effet des conditions climatiques défavorables à la dissémination de l'agent pathogène et à l'infection de l'hôte.

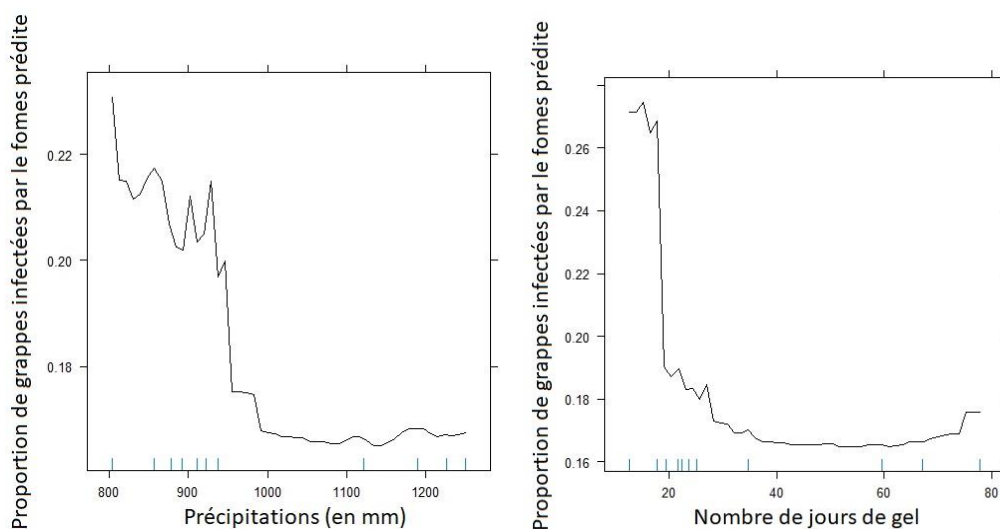


Figure 6 : prédiction de la fréquence de souches altérées en fonction de variables climatiques (précipitations et nombre de jour de gel par an)

Le **nombre d'éclaircies** a été renseigné dans les plantations. Comme le fomes s'installe à la faveur des souches des arbres fraîchement coupés qui sont des portes d'entrée du pathogène, les éclaircies constituent des étapes qui favorisent la propagation intra-parcellaire de la maladie. L'enquête révèle effectivement une fréquence d'infection plus élevée dans les parcelles qui ont subi 5 éclaircies ou plus (26% de souches infectées). Cependant, ce facteur de vulnérabilité est fortement corrélé à l'âge des arbres, les plantations les plus âgées étant celles qui ont été le plus souvent éclaircies.

L'**antécédent culturel** de la plantation d'épicéa est un autre facteur de vulnérabilité majeur déjà cité dans des études scientifiques et qui se confirme dans cette enquête. Les plantations sur d'anciennes terres agricoles, pâtures ou landes présentent des taux de dégradations du bois élevés : environ 25% des arbres y sont attaqués significativement par le fomes (figure 7). Sur ce type de sol, il est suggéré que la diversité en microorganismes est moindre que dans les anciennes terres boisées et par conséquent ceux-ci concurrencent peu l'agent pathogène *Heterobasidion* sp. dans le sol et sur les bois morts. Par ailleurs, ces sols sont généralement plus fertiles ce qui favoriserait le développement du pathogène. Enfin, le taux d'infection sur d'anciennes parcelles boisées en épicéa est du même ordre que sur les terres cultivées. En cas d'absence de traitement de lutte contre le pathogène ou de dessouchage, le fomes fructifie sur les anciennes souches d'épicéas laissées sur place et produit un inoculum qui infecte la nouvelle plantation.

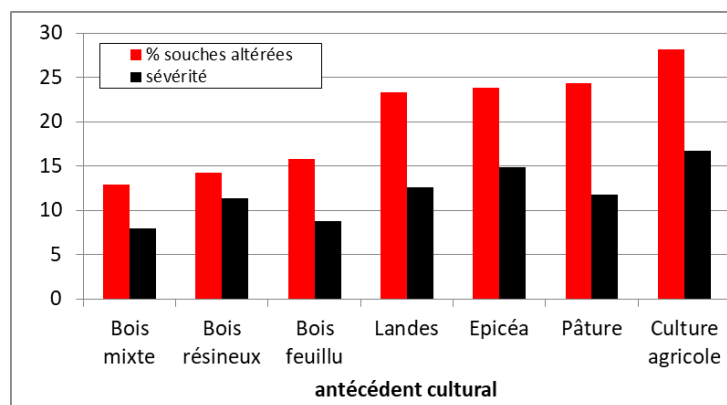


Figure 7 : impact du fomes en fonction de l'antécédent culturel des plantations d'épicéa.

L'**environnement forestier** autour des plantations enquêtées a été étudié, et notamment le volume de résineux (épicéa-sapin-douglas-pin) dans le quadrat de 16 x 16 km dans lequel se situe la plantation. La forte présence de résineux sensibles à *Heterobasidion* sp. dans le secteur peut être source de production d'une grande quantité d'inoculum de l'agent pathogène disséminé dans l'air. L'analyse montre que cette variable peut expliquer la présence de la maladie, avec un taux d'infection plus élevé quand la densité en résineux augmente dans le voisinage (figure 8). Le volume d'épicéa dans le quadrat est aussi une variable explicative importante, mais inversement corrélée à la fréquence de fomes. C'est en effet dans les zones les plus riches en épicéas (GRECO Vosges et centre-est du Massif central) et parallèlement où le climat est le plus froid parmi les plantations enquêtées que le fomes est le moins présent.

Au niveau intra-placette, aucune corrélation n'a été montrée entre la densité en épicéa, exprimée en surface terrière par ha, et le taux d'infection (figure 9).

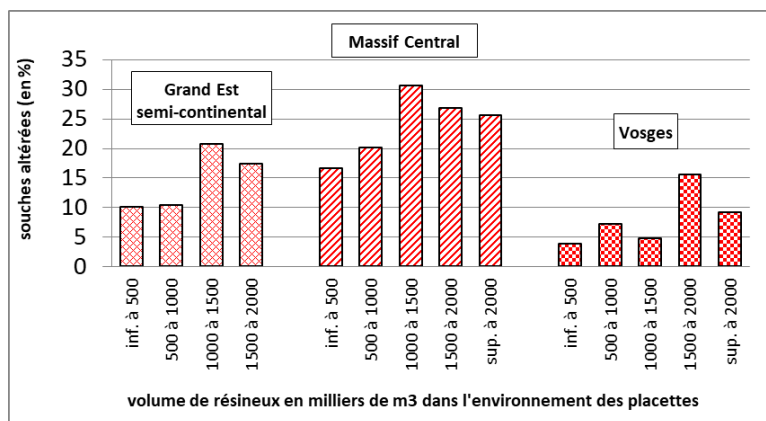


Figure 8 : impact du fomes en fonction de la densité en résineux dans un quadrat de 16 x 16 km

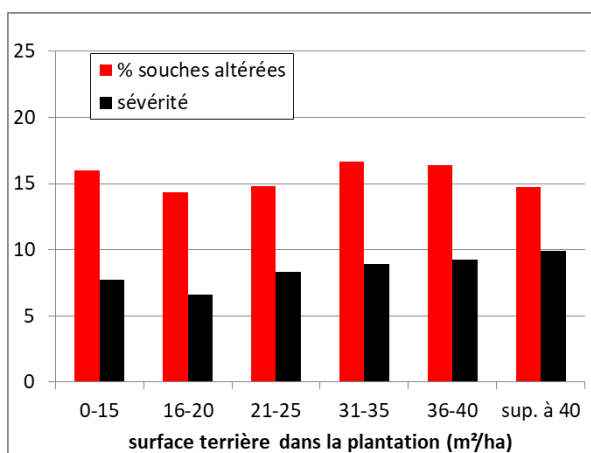


Figure 9 : impact du fomes en fonction de la surface terrière en épicéa dans la plantation

L'**altitude** de chaque placette a été renseignée selon la BD Alti® de l'IGN. Elle n'a cependant pas été retenue dans l'analyse de données car très intégrative avec d'autres variables explicatives. Dans notre réseau de placettes, ce sont les plantations situées entre 600 et 800 m d'altitude dans les GRECO Massif central et Vosges (figure 10) qui sont les plus impactées. Cependant, ces altitudes présentent un volume de résineux plus élevé que la moyenne et des antécédents culturels majoritairement plus favorables à la maladie (antécédent agricole, landes et pâture) qui peuvent expliquer un taux de souches altérées plus important.

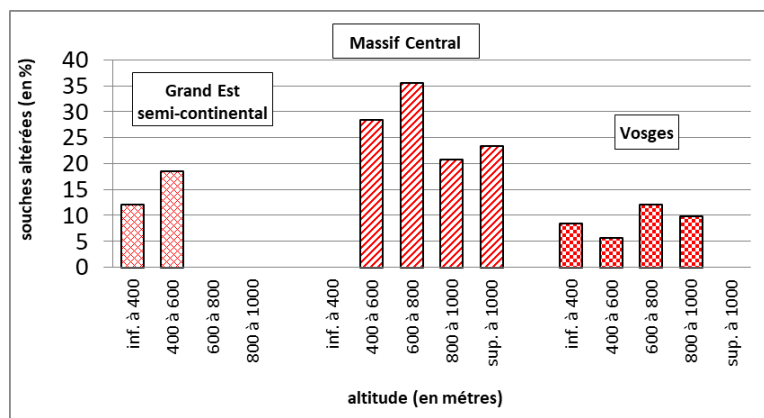


Figure 10 : impact du fomes en fonction de l'altitude des plantations d'épicéa

Les plantations sur **substrats géologiques** de type granites ou basaltes présentent des taux d'infection supérieurs aux autres types de substrat (figure 11). Cependant, ces substrats sont surtout présents dans la région Massif-central qui est la plus affectée. Dans cette région, on ne perçoit pas de différence notable d'impact du fomes entre les substrats métamorphiques, granitiques ou basaltiques.

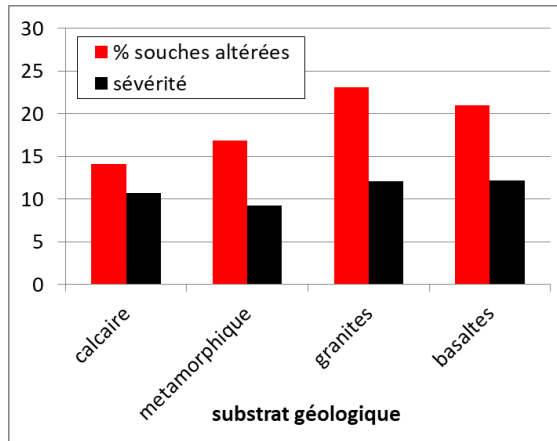


Figure 11 : impact du fomes en fonction du substrat géologique

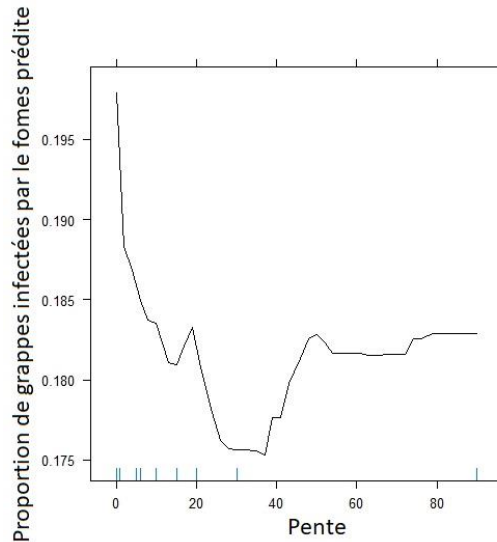


Figure 12 : impact du fomes en fonction de la pente relevée dans les plantations d'épicéa

Des variables **topographiques** comme le **relief** (crête, versant, cuvette, vallée, zone plane), l'**exposition** et la **pente** ont été relevées. Alors que la fréquence de souches altérées ou la sévérité de la maladie semble indépendante du relief ou de l'exposition, les plantations à faible pente (moins de 20%) sont les plus touchées (figure 12). Les terrains à faible pente sont aussi ceux où les antécédents sont les plus favorables au fomes (agricole, landes, pâture).

Enfin, l'analyse par la méthode des forêts d'arbres de décisions fait ressortir les **contraintes édaphiques** parmi les principales variables explicatives de la fréquence de fomes. Dans le relevé d'enquête, la consigne était de mentionner, le cas échéant, la ou les principales contraintes du sol liées à sa structure, au pH ou à l'engorgement en eau. Après une reclassification des données, il n'a cependant pas été possible de déterminer de variables cohérentes avec la fréquence de maladie. Un nouveau protocole de collecte de données des placettes serait nécessaire pour préciser les facteurs de vulnérabilité liés au sol.

Conclusions

L'enquête fomes de l'épicéa commun a mobilisé 93 correspondants-observateurs du DSF et de l'OWSF. Elle a permis de collecter un nombre considérable de données provenant de 337 placettes principalement dans les GRECO Massif central, Grand-Est semi-continentale et Vosges et de 33627 souches observées.

Elle montre que le fomes est largement répandu à l'échelle nationale, avec des impacts dépendants à la fois de la localisation géographique et de critères liés à la station et au peuplement. Les plantations situées dans l'ouest du massif central, le centre de l'Occitanie, les Ardennes et la Wallonie sont les plus touchées par la maladie. Cela peut s'expliquer par une présence plus accrue de l'agent pathogène dans ces régions et une pression d'inoculum plus élevée. Il n'a cependant pas été possible dans cette enquête de mesurer correctement la prévalence d'*Heterobasidion* sp. par le comptage de sporophores sur les souches. Une autre hypothèse est que le climat y est plus favorable à la dissémination et l'infection du pathogène, à savoir un climat de type semi-continentale, voire océanique. Par ailleurs, l'analyse des conditions stationnelles révèle que les plantations de plus de 40 ans et/ou installées sur un sol avec un passé agricole et/ou en pente faible sont les plus affectées par le fomes, avec une altération des bois sur environ 25% des arbres. La forte présence de résineux dans le secteur géographique semble aussi avoir un effet notable sur l'impact du fomes.

Dans la GRECO Massif central, où l'échantillonnage est dense et bien réparti, l'enquête révèle que 12% des arbres exploités après éclaircie ou coupe rase sont notés en dégradation de souche très avancée (note C ou D). Pour ces stades, nous estimons qu'environ 15% de la grume est purgée. Compte-tenu des 56 millions de m³ de volume de bois sur pied dans la région Massif central et des 2,1 millions de m³ prélevés par an (source IGN), le fomes serait donc responsable d'une perte de production d'un million de m³ de bois et d'une perte d'exploitation d'environ 40 000 m³ par an, soit l'équivalent de 100 ha de pessières par an.

Cette enquête donne ainsi des indices pour lesquels il convient d'être vigilant et des situations sylvicoles où soit un traitement préventif et de lutte, soit un changement d'essence est recommandé pour limiter l'impact de cet agent pathogène. Le dessouchage est une autre option pour lutter contre l'expansion de la maladie mais cette pratique présente le risque de déstructurer le sol forestier. Le fomes a en effet non seulement un impact sur la qualité du bois, provoquant une pourriture de cœur, mais aussi un impact sur la croissance, la stabilité et la vitalité en affectant le système racinaire et en affaiblissant les arbres. Il a d'ailleurs été montré que, chez l'épicéa, la conjonction des 2 phénomènes « présence du fomes » et « épisodes de sécheresse » accélère significativement le dépérissement de l'hôte, voire sa mortalité.

Enfin, deux points mériteraient d'être approfondis pour aller plus loin dans la détermination des facteurs de vulnérabilité de l'épicéa commun : une meilleure description d'une part des conditions édaphiques des plantations d'épicéa commun et d'autre part des espèces d'*Heterobasidion* présentes via une collecte massive de sporophores dans les plantations affectées.

Rédacteurs : Claude Husson, Pierre-Antoine Gaertner, Jean-Baptiste Daubrée (Département de la santé des forêts DSF), Quentin Leroy (Observatoire wallon de la santé des forêts OWSF)