
DÉTERMINATION DE L'IMPACT POTENTIEL DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA MORTALITÉ DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES EUROPÉENNES

Thèse de Adrien **TACCOEN**¹

Analysée par Jean-Luc **PEYRON**²

Directeur de thèse : Jean-Claude **GÉGOUT**, professeur, AgroParisTech, Nancy

Co-encadrant de thèse : Christian **PIEDALLU**, ingénieur de recherche, AgroParisTech, Nancy

La thèse est délivrée par l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Spécialité « Biologie et écologie des forêts et des agrosystèmes ». Elle a été financée par l'Office National des Forêts (ONF) et la région Grand-Est. Elle a également bénéficié des données de l'inventaire forestier national mises à disposition par l'Institut Géographique National (IGN). Avant son doctorat, Adrien Taccoen était déjà titulaire d'un diplôme d'ingénieur d'AgroParisTech en environnement et santé environnementale, après une dominante d'approfondissement en gestion des milieux naturels. Au cours de sa formation et de son doctorat, il a développé des compétences en écologie, modélisation et systèmes d'information géographique.

Cette thèse s'intéresse à la mortalité de fond des arbres forestiers, c'est-à-dire celle que l'on peut relever en l'absence de grandes perturbations telles que tempêtes, canicules ou sécheresses exceptionnelles, incendies, inondations, coupes fortes ainsi que pullulations d'insectes ou pathogènes. En effet, nombre d'observations et articles ont noté une recrudescence de cette mortalité de fond des arbres forestiers depuis les années 1980. Certains d'entre eux incriminent l'évolution des peuplements forestiers à l'intérieur desquels s'exercerait une compétition croissante entre arbres résultant d'un vieillissement ou d'un défaut d'exploitation du bois. D'autres tiennent pour responsable le changement climatique dont les premiers effets se feraient ainsi sentir sur la mortalité. On pressent que les deux causes sont susceptibles de jouer, particulièrement dans le contexte français, voire européen, où le volume sur pied moyen à l'hectare s'élève régulièrement et où la température moyenne a déjà augmenté de plus d'un degré Celsius au cours des dernières décennies.

L'objectif de cette thèse est donc essentiellement de séparer les effets de l'état des peuplements de ceux, éventuels, du changement climatique pour faire la part des choses entre ces deux catégories de déterminants potentiels. Indépendamment du rôle tenu par l'état des peuplements hors changement climatique, il s'agit notamment d'évaluer s'il existe une surmortalité due au changement climatique et, dans l'affirmative, d'analyser ses dépendances à la station, ainsi qu'à la composition et à la structure des peuplements.

¹ Thèse de doctorat AgroParisTech, Université de Lorraine, délivrée par l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Spécialité : Biologie et écologie des forêts et des agrosystèmes, présentée et soutenue le 7 novembre 2019.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 2 « Forêts et filière bois ».

Cet objectif détermine évidemment la méthodologie à mettre en place pour effectivement parvenir à séparer les différents effets à analyser, ce qui n'a pas vraiment été réalisé jusque là dans les travaux issus de la bibliographie. Cette méthodologie repose alors sur les bases suivantes :

- la prise en compte de variables explicatives nombreuses et issues d'un large champ d'investigation relatif aux arbres morts depuis moins de cinq ans (essence, âge, dimensions, vigueur, état sanitaire, statut social, accès aux ressources), au peuplement dans lequel ils se situent (compétition, répartition des ressources), de l'environnement, c'est-à-dire de la station forestière (sol, climat), enfin du changement climatique qui doit être bien distingué du climat lui-même ;
- les données utilisées pour décrire la mortalité, les peuplements et le sol sont issues de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN ; elles portent sur la période 2009-2015 et sur la France métropolitaine entière soit, après élimination des cas ne permettant pas l'analyse de la mortalité de fond, de l'ordre de 35 000 placettes, 440 000 arbres vivants et 32 000 arbres morts depuis moins de cinq ans ; les analyses réalisées utilisent chacune un sous-échantillon couvrant 8 à 43 espèces d'arbres selon les cas et toujours plus de 200 000 arbres au total dont plusieurs milliers d'arbres morts sur pied depuis moins de cinq ans ;
- le changement climatique est déterminé par rapport à la période de référence 1961-1987 dont le climat est caractérisé par le modèle Digitalis qui présente l'avantage de prendre en compte la topographie de manière relativement précise ; les anomalies climatiques sont déterminées sur la période de 15 ans précédant le relevé de terrain de l'inventaire forestier national ; elles sont fondées sur les séries homogénéisées de Météo France et spatialisées par krigeage à partir de 200 postes de relevés pour les températures et de 1119 postes de relevés pour les précipitations ;
- les analyses statistiques sont réalisées par régression logistique utilisant le modèle linéaire généralisé avec introduction progressive des variables (procédure ascendante), avec deux estimateurs différents de la contribution des variables.

La thèse est organisée de manière extrêmement cohérente et efficace. Elle s'articule autour d'une publication³ et de deux projets de publication en phase de finalisation qui constituent les chapitres 3, 4 et 5. Ces trois chapitres d'analyse sont précédés de deux chapitres, introductif et méthodologique ; ils sont suivis d'un chapitre de discussion et conclusion. Le chapitre introductif présente les concepts et définitions de base, le contexte du point de vue du changement climatique et de la mortalité des arbres, enfin les objectifs de la thèse. Le chapitre méthodologique introduit quant à lui la zone d'étude (France métropolitaine), les données utilisées pour décrire l'état des peuplements, les méthodes statistiques et la façon dont le climat, d'une part, le changement climatique, d'autre part, sont pris en compte. Ces aspects introductifs et méthodologiques sont en fait ceux qui ont été résumés ci-avant.

L'objectif de la thèse est donc traité à travers les trois questions auxquelles répondent les chapitres 3, 4 et 5, ou encore les trois projets d'article soumis pour publication (et publié pour le premier au moment de la soutenance de la thèse). Ces trois questions sont les suivantes :

- le changement climatique influence-t-il la mortalité des arbres des essences forestières européennes ?

³ Taccoen A, Piedallu C, Seynave I, Perez V, Gégout-Petit A, Nageleisen L-M, Bontemps J-D, Gégout J-C. 2019. – *Background mortality drivers of European tree species: climate change matters*. Proc. R. Soc. B286: 20190386. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2019.0386>.

- la mortalité des arbres liée au changement climatique est-elle exacerbée en marge chaude et sèche de l'aire de répartition des essences ?
- les effets du changement climatique sur la mortalité des arbres diffèrent-ils selon la taille et le statut social de ceux-ci ?

A la première question, la réponse est affirmative au moins pour 19 espèces sur les 43 envisagées. Pour les autres espèces, il n'a pas été possible de séparer l'effet du climat et celui du changement climatique, ce qui n'empêche pas leur dépendance au climat de laisser présager une vulnérabilité à son changement. L'ensemble des 19 espèces, pour lesquelles cette vulnérabilité a pu formellement être mise en évidence contient quasiment toutes les plus communes, hormis le chêne sessile dont la mortalité ne semble pas répondre au changement climatique et le châtaignier qui est exclu de l'analyse en raison de ses nombreuses pathologies. Ces espèces sont : bouleau (*Betula pendula*), noisetier, hêtre, cytise, mélèze (*Larix decidua*), épicéa commun, épicéa de Sitka, pin maritime, pin sylvestre, douglas, chêne vert, chêne pubescent, chêne tauzin, chêne pédonculé, robinier, saule blanc, saule marsault, alisier blanc, alisier torminal. Les variables qui caractérisent le changement climatique et interviennent sur la mortalité dépendent des espèces et portent sur les anomalies de températures lors des quatre saisons (principalement l'été) ou les anomalies de précipitation durant les saisons de croissance. Cependant, le changement climatique n'intervient que loin derrière les caractéristiques individuelles des arbres (statut social) et celles du peuplement (notamment composition, hétérogénéité, surface terrière, taux de couvert).

La deuxième question (chapitre 4 de la thèse) fait l'objet d'une réponse positive pour neuf espèces sur les douze testées : non seulement la mortalité peut être plus forte en marge chaude ou sèche de l'aire de distribution de l'espèce mais elle y est encore exacerbée par le changement climatique. Il faut noter que le chêne sessile, contrairement au chêne pédonculé mais comme le charme et le sapin pectiné, fait partie des trois espèces dont la mortalité ne semble pas varier pour l'instant avec le changement climatique bien qu'elle soit sensible au climat et plus forte (mais non exacerbée par le changement climatique) en marge chaude et sèche. Les espèces dont la mortalité de fond augmente avec le changement climatique sont d'abord le robinier, l'épicéa et le chêne pédonculé ; puis le pin maritime, le douglas et le mélèze avant le hêtre et le pin sylvestre ; le bouleau voit quant à lui sa mortalité diminuer avec le réchauffement hivernal.

Le traitement de la troisième question (chapitre 5 de la thèse) montre clairement que, de manière générale, les arbres dominés meurent plus que les arbres dominants et que cette réalité tend à être atténuée en peuplements mélangés mais exacerbée par le climat (la mortalité est plus forte en marge chaude ou sèche). Le changement climatique intervient en plus d'une manière différenciée : pour le chêne sessile, le sapin pectiné et le hêtre notamment, on constate une surmortalité forte des dominés. De manière générale, le réchauffement augmente davantage la mortalité des dominés que des dominants tandis que l'inverse se produit pour une réduction des pluies. Cette dernière affecte plus les dominants sans doute parce qu'il est plus difficile aux arbres hauts d'évaporer de l'eau en cas de sécheresse, d'une part et, d'autre part, parce qu'en réduisant leur évapotranspiration, les dominants laissent relativement plus de ressources en eau aux dominés. Globalement, c'est quand même l'effet réchauffement qui l'emporte sur l'effet sécheresse, si bien que les dominés pâtissent plus du changement climatique.

Cette thèse présente de nombreuses originalités qui sont bien mises en évidence dans son sixième et dernier chapitre. En considérant de nombreuses variables explicatives de la mortalité de fond, allant de l'arbre individuel au climat en passant par le peuplement, la station (ou habitat) et la gestion, elle est à même de distinguer la part des différents effets et de montrer notamment le caractère prépondérant du statut social des arbres et de la structure du peuplement. Elle est également en mesure d'analyser assez précisément l'effet du

changement climatique qui apparaît bien plus clairement que celui du simple climat de référence, même si cet effet est encore limité.

On note également la grande cohérence d'ensemble de cette thèse qui, à partir d'un jeu de données représentatif, bien constitué et organisé, s'attache à répondre successivement à des questions imbriquées et de plus en plus précises en apportant des réponses très circonstanciées. Certes, le nombre d'essences pris en compte décroît progressivement au fur et à mesure des questions posées mais des comparaisons entre essences peuvent être faites en raison de l'utilisation des mêmes données, de la même méthodologie d'analyse et des mêmes critères d'évaluation.

Le dernier chapitre s'applique également à discuter les limites rencontrées lors de la réalisation de ce travail :

- l'approche s'est focalisée sur la mortalité de fond ; cela ne doit pas faire oublier que celle-ci ne représente qu'une partie de la mortalité et des effets du changement climatique qui se produisent aussi beaucoup sous forme de crises ; par ailleurs, la séparation entre événements extrêmes et mortalité de fond n'est pas évidente pour des phénomènes dont les conséquences ne sont pas toutes immédiates ;
- la mortalité de fond elle-même n'est que partiellement décrite par le jeu de données, car la gestion forestière récolte bon nombre d'arbres dépérissants, voire morts récemment, qu'il n'est ensuite plus possible de distinguer des arbres normalement récoltés ;
- les atteintes biotiques jouent également un grand rôle sur la mortalité, sans pour autant engendrer de véritables crises : l'essence pour laquelle le taux de mortalité est le plus élevé, le châtaignier, a dû être retirée du jeu de données en raison des nombreuses pathologies qui l'affectent par ailleurs ;
- les effets du changement climatique sur la mortalité ont pu être analysés, ce qui constitue une grande originalité de la thèse ; cependant, la période d'analyse reste courte à la fois au niveau de l'amplitude temporelle des relevés de terrain sous changement climatique (2009-2015) et pour ce qui est de l'intervalle de temps entre relevés et période de référence, les effets du changement climatique n'étant pas encore très intenses (d'où des effets visibles mais encore faibles).

Les remarques précédentes conduisent à se poser la question du type de valorisation pour une telle analyse originale. Si une utilisation directe par les gestionnaires semble exclue au-delà des éléments d'information générale, une prise en compte dans des modèles d'impact du changement climatique et d'adaptation serait très utile. Par ailleurs, la méthode mise en œuvre mériterait d'être utilisée par les réseaux de suivi systématique des écosystèmes forestiers.

En conclusion, ce travail de thèse sur la mortalité de fond des arbres forestiers est original par la distinction et l'imbrication de différents déterminants, dont le changement climatique. Il présente une grande cohérence d'ensemble au niveau des données mobilisées, des méthodes d'analyse et des critères d'évaluation utilisés, tout en produisant des résultats très représentatifs à l'échelle de l'hexagone. Il marie particulièrement bien des disciplines allant de la climatologie à la géomatique en passant par l'écologie et la modélisation statistique. Pour toutes ces raisons, ce travail mérite largement d'être valorisé par la mise sur le site de l'Académie d'agriculture de France.