Une planification des forêts à adapter face à des défis encore inconnus

Frédéric Bonin[1,2,3*], Sundy Maurice[4], Félix Bastit[5]

1. Agence de la transition (ADEME), 49004, Angers, France
2. Université de Lorraine, CEREFIGE, 54000, Nancy, France
3. UMR Silva (Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE), 54000, Nancy, France
4. Section for Genetics and Evolutionary Biology, Department of Biosciences, University of Oslo, 0316, Oslo, Norway
5. BETA, Université de Lorraine, Université de Strasbourg, AgroParisTech, CNRS, INRAE, 54000, Nancy, France

*Auteur correspondant : fredric.bonin@univ-lorraine.fr

Une planification des forêts à adapter face à des défis encore inconnus

Dans le cadre du *Forum Jeunes Chercheurs* des Ateliers ReGeFor 2020, trois jeunes chercheurs — aux champs de prédilection divers (respectivement sciences de gestion, mycologie et sciences économiques) — ont réfléchi à une approche croisée des crises que traversent les forêts. Il leur a semblé que la planification forestière était actuellement soumise à de grands défis qui pourront être résolus, d'une part, en améliorant la compréhension des écosystèmes forestiers et leurs interactions avec la société, et d'autre part, en acceptant des régimes de crise encore mal connus et donc en faisant appel à davantage de souplesse et d'agilité pour une "nouvelle" gestion et planification forestière.

Forest planning has to be adapted to face as yet unknown challenges

Within the framework of the Junior Researchers Forum of REGEFOR 2020, three researchers from different fields (management sciences, mycology, economics) considered a cross-disciplinary approach to address current forests crises. Forest planning is currently subjected to great challenges that will have to be solved by improving our understanding of forest ecosystems and their relationships with our society, and by accepting still poorly known crisis regimes that will call for some level of flexibility and agility towards "new" forest management and planning.

Messages clés :

- La planification forestière doit répondre à des nouveaux défis.
- La compréhension des interactions forêt-société doit être améliorée.
- Une gestion plus souple doit être mise en place.

Mots clés : gestion forestière, biodiversité, modèles écologiques et économiques, grands défis, inconnu

Highlights:

- Forest planning has to meet new challenges.
- The understanding of forest-society interactions needs to be improved.
- More supple management should be implemented.

Keywords: Forest management, biodiversity, ecological and economic models, great challenges, unknown

Citation de l'article : Bonin, F., Maurice, S., & Bastit, F. (2023). Une planification des forêts à adapter face à des défis encore inconnus. *Revue forestière française*, 74(2 « Ateliers ReGeFor 2020. Forêts en crise : relevons le défi ! »), 293-298. https://doi.org/10.20870/revforfr.2023.7613

Licence Creative Commons
Attribution - 4.0 International (CC BY 4.0)

Tempêtes, incendies, sécheresses, insectes ravageurs, gelées tardives, pression des grands ongulés ; nombreux sont les risques pesant sur la forêt et menaçant la gestion élaborée sur le long terme par le forestier. Par ailleurs, le forestier est aujourd'hui amené à planifier en intégrant la volonté, voire en coconstruisant avec des parties prenantes qui demandent à participer aux décisions de gestion. En somme, la planification forestière doit évoluer vers une approche permettant de faire face aux défis environnementaux et sociétaux (Keenan, 2015).

Au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle (1953-2000), le volume de bois européen impacté par les perturbations naturelles a représenté 8,6 % de la récolte. La majeure partie de ces dégâts a été causée par des tempêtes (53 %), des incendies (16 %) et d'autres facteurs biotiques (16 %, dont 8 % par les seuls scolytes). À l'échelle de la forêt métropolitaine française, de nombreux événements ont récemment perturbé le couvert forestier. Par exemple, en 1999, les tempêtes Lothar et Martin laissaient 150 millions de mètres cubes de bois à terre (IGN, 2017 ; ONF, 2021). De leur côté, les dégâts d'incendies s'élèvent à un niveau moyen de l'ordre de 10 000 ha/an, avec des années exceptionnelles, comme 2003 impactant plus de 70 000 ha, ou durant l'été 2022, avec une surface de 72 000 ha (ministère de l'Intérieur et des Outre-Mer, 2022). Le versant biotique n'est pas en reste, à l'image du scolyte de l'épicéa qui provoque la perte par mortalité de plusieurs millions de mètres cubes dans l'Est de la France depuis 2018 (Fibois Grand Est, 2021), et des dégâts de l'ordre de la centaine de millions de mètres cubes ont aussi été déplorés dans les pessières allemandes (Roitsch, 2019).

Une tendance à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des perturbations a effectivement été observée durant la seconde moitié du XX^{e} siècle et devrait se poursuivre à l'avenir (Lindner & Verkerk, 2019). Les causes de cette augmentation sont doubles et œuvrent souvent à l'unisson :

— le changement climatique, qui accroît les risques biotiques et abiotiques, tel qu'une hausse de température favorisant la prolifération d'insectes ravageurs ou de champignons pathogènes des arbres, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, des inondations et des incendies, etc.

— la gestion sylvicole qui module, positivement ou négativement, la vulnérabilité des peuplements. Par exemple, Seidl *et al*. (2011) mettent en avant l'impact de la gestion sur les aléas tempêtes et scolytes dans le cas de peuplements surcapitalisés. Par ailleurs, d'un point de vue économique, cette capitalisation les expose à davantage de vulnérabilité (Kirilenko & Sedjo, 2007).

Enfin, plus qu'une augmentation des risques individuels, des interactions entre les différents risques sont à prévoir dans le contexte du changement climatique, pouvant induire des cascades de risques d'ampleur inédite (Buma, 2015 ; Jactel *et al.*, 2012).

L'Union européenne s'engage simultanément pour une gestion durable et équilibrée des forêts afin d'améliorer leur état écologique, leur santé et leur vitalité. Cependant, face au changement climatique et aux risques qui l'accompagnent (pics de températures extrêmes, déficits hydriques, etc.), cet objectif est de plus en plus difficile à atteindre.

Bien que de nature différente, s'ajoutent à ce contexte de défis climatiques, des évolutions sociétales appelant à repenser la planification forestière traditionnelle. En effet, les multiples parties prenantes de la forêt, notamment le grand public, se sentent concernées par la situation que traversent nos forêts et souhaitent prendre part activement aux décisions de gestion des forêts, publiques tout du moins. En outre, cette mobilisation des parties prenantes prend place dans un contexte où une part des informations reste incertaine ; tout l'enjeu se cristallise alors autour de la légitimité des acteurs et pratiques en place. Ces mobilisations sociales appellent à repenser la manière traditionnelle de planifier (Boutefeu, 2005), jusqu'à présent essentiellement circonscrite à quelques acteurs centraux tels que le gestionnaire et le propriétaire. L'évolution du contexte mène aujourd'hui à ouvrir à davantage de parties prenantes et d'usagers de la forêt, tels que cela peut se faire à titre innovant en forêt publique française avec le label "Forêt d'Exception®", ou encore au Canada avec les "tables de consultation".

Dans ce contexte, il apparaît primordial de qualifier la situation à laquelle nous faisons face, et ses conséquences en termes d'actions et de décisions de gestion (p. 295). Puis, nous nous interrogerons sur les opportunités permettant de réduire les incertitudes actuelles, en améliorant notamment les modèles économiques et écologiques, et surtout en les articulant plus efficacement, de sorte à renforcer leur caractère explicatif des tendances à venir (p. 296). Enfin, nonobstant les améliorations à apporter aux modèles, il demeure une part irréductible d'incertitude face aux crises et aux attentes sociétales. Cette part d'incertitude conduit alors à s'organiser différemment, changer les pratiques et développer de nouvelles compétences pour faire avec l'inconnu.

À la lumière de ces éléments, plusieurs questions apparaissent : les déterminants des différentes crises environnementales, économiques et sociétales sont-ils bien connus ? L'ampleur des crises à venir peut-elle être prévue avec précision ? Sinon, que pouvons-nous faire ?

LA PLANIFICATION FORESTIÈRE FACE AUX GRANDS DÉFIS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DES ATTENTES DE LA SOCIÉTÉ

Le contexte dans lequel nous sommes plongés se caractérise par des situations dites de grands défis, où complexité (causalité non linéaire, dimensions multiples…), incertitude, et absence de consensus — tant sur les objectifs que la manière d'y parvenir — sont prégnants (George *et al.*, 2016).

À l'instar de la situation que connaît actuellement une partie importante des forêts picardes, le cas de la forêt domaniale de Compiègne est particulièrement saillant (Brunier *et al.*, 2020 ; Le Bouler, 2021). Cette dernière trouve son origine dans les plantations de chênes et de hêtres initiées au début du XIX^{e} siècle sous Napoléon I^{er}. Reposant sur des sols sableux, ces arbres ont produit du bois de haute qualité, mais ont connu des dépérissements ponctuels dus à un sol filtrant, sujet à des déficits hydriques marqués lors d'épisodes de sécheresse estivale. Ayant connaissance de cette vulnérabilité et anticipant des conditions drastiques potentiellement plus fréquentes et intenses, les gestionnaires ont prévu, lors du dernier aménagement (2012), une conversion des peuplements de Chênes pédonculés (*Quercus robur*) en Chênes sessiles (*Quercus petraea*), essence plus tolérante au déficit hydrique. Toutefois, deux ans après avoir amorcé cette conversion, les gestionnaires constatent qu'entre 40 % et 50 % de la régénération est en échec. Ce taux important résulte d'une surpopulation de hannetons forestiers, parfois dans des concentrations 7 fois supérieures au seuil [empiriquement établi à 2 larves L3/m^2 (Horst Delb, cité par R. Touffait, 2020)] que la régénération peut tolérer (Gaudry *et al.*, 2017 ; Nageleisen *et al.*, 2015 ; Touffait, 2020). L'aménagement fraîchement renouvelé a donc été suspendu.

Cette situation est révélatrice des grands défis. Elle est rendue complexe par les nombreuses interactions et rétroactions liées au changement climatique : à cause de l'augmentation des températures et la diminution des précipitations estivales, les stations forestières risquent de devenir plus contraignantes. Elle est également incertaine : on ne sait pas à quelle vitesse ni jusqu'à quelle limite ces stations vont évoluer. La complexité et l'incertitude de la situation sont ici renforcées par la présence du hanneton dont, premièrement, le cycle de vie en condition de changement climatique est mal connu et, deuxièmement, dont aucune méthode satisfaisante de contrôle n'est actuellement disponible (à l'exception des traitements chimiques, prohibés). Par conséquent, la « sortie de crise » n'est pas envisageable pour l'instant. Enfin, cette situation est également caractérisée par une absence de consensus entre les parties prenantes, concernant les objectifs de gestion (production, accueil et récréation, maintien de la biodiversité…) et la manière d'y parvenir (traitements réguliers *versus* irréguliers, choix d'essences, scénarios sylvicoles...).

Les implications d'une telle situation sont multiples. Elles perturbent les équilibres en place, à la fois sur la façon dont les hommes s'organisent entre eux, et sur la manière dont ils gèrent la forêt ; tout ce qui était tenu pour acquis ne l'est désormais plus. Les problématiques générées se cristallisent alors autour de deux thèmes : que faire, dans un contexte où les décisions doivent être prises avec une part d'inconnu ? Et comment mettre en œuvre les décisions, lorsque les pratiques habituelles des acteurs sont mises en échec et doivent évoluer ?

RÉDUIRE L'INCERTITUDE EN AMÉLIORANT NOS CONNAISSANCES ET EN COMBINANT LES APPROCHES

Face à l'incertitude émanant de ces grands défis, une piste d'action pour éclairer la décision consiste déjà à améliorer nos connaissances de l'existant (écologie forestière, économie forestière, gestion forestière, et leurs complémentarités respectives) (cf. ci-dessus). En l'occurrence, les modélisations sont souvent développées et approfondies au sein de chaque champ disciplinaire de manière relativement hermétique, alors que leur articulation permet d'apporter un éclairage incluant de nombreux paramètres (p. 296). À titre d'exemple, quelle est la perméabilité entre les connaissances écologiques et les choix économiques et techniques faits sur le terrain ?

Améliorer la prévision comme outil d'aide à la décision

Par principe, chaque modèle prévisionnel de décision a une portée limitée et est généralement voué à être amélioré avec le temps (acquisition de données, introduction de nouveaux paramètres, etc.). Les modèles deviennent donc de plus en plus complexes en essayant de mimer au mieux la réalité, ou du moins certains de ses aspects. Trois approches sont alors nécessaires pour parvenir à une modélisation pertinente de la gestion de nos forêts :

— l'écologie forestière, s'intéressant aux caractéristiques biotiques et abiotiques qui gouvernent la diversité, la composition et les interactions des organismes à différentes échelles. Depuis la symbiose plante-champignon jusqu'aux interactions à l'échelle de l'écosystème et du peuplement, dans des processus de fonctionnement des cycles biogéochimiques ;

— l'économie forestière, s'intéressant aux compromis possibles dans la gestion d'une forêt, ici encore à différentes échelles : depuis les décisions du propriétaire fores-

tier à l'échelle d'une parcelle, jusqu'aux mécanismes d'établissement de prix du bois pouvant aller jusqu'à l'échelle internationale dans un contexte de marché global ;

— la gestion forestière, proposant de mettre en œuvre sur le terrain les solutions les plus appropriées au contexte local, s'appuyant ainsi bien souvent sur les conclusions tirées des deux autres approches.

En associant ces trois approches, il est possible de dessiner la gestion technique optimale d'une forêt prenant en compte de nombreux paramètres, dont les perturbations naturelles ou d'origine anthropique sont un élément primordial. L'écologie forestière a particulièrement avancé sur la compréhension des impacts des perturbations, et tout particulièrement des effets d'interactions possibles entre elles dans un contexte de changement climatique.

Les économistes n'ont néanmoins pas encore intégré ces avancées dans leurs modèles. Ceci est dommageable car les stratégies de gestion historiquement optimales ne le seront plus à l'avenir, puisque le régime des aléas naturels sera modifié. À cet égard, il y a donc un véritable besoin de dépasser ce fonctionnement monodisciplinaire pour tendre vers une approche plus holistique. Il peut s'agir par exemple d'améliorer la modélisation et ses apports pour la décision, en proposant de nouveaux scénarios de gestion, plus adaptatifs, c'est-à-dire fondés « sur le développement de connaissances au sein même de la gestion [...] et l'adaptation de la gestion à partir de ces nouvelles connaissances » (Cordonnier & Gosselin, 2009 ; Gosselin, 2004).

Améliorer la prévision en renforçant la robustesse des modèles et croisant les disciplines

Les modèles prévisionnels de scénarios sylvicoles et potentialités forestières peuvent intégrer un large éventail de connaissances de l'écosystème forestier et produire des scénarios avec un nombre de variables important comme aide à la décision de gestion. Cependant, par le passé, le développement desdits modèles s'est principalement concentré sur des objectifs spécifiques, tels que la poursuite d'un itinéraire maximisant les revenus du propriétaire forestier sur le long terme ou minimisant le risque de pertes économiques pour le propriétaire, ou encore la prévision et quantification sylvicole du côté des sciences forestières et l'analyse du fonctionnement des écosystèmes du côté des écologues, sans interactions (Dolez, 2021). Par exemple, les modèles numériques permettent de simuler l'avenir du climat de notre planète et fournissent des projections de climats futurs sur la base de différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre (IPCC, 2022). Quant aux modèles d'équations structurelles, ils permettent de quantifier ces effets de perturbations directes, qu'elles soient naturelles ou anthropiques, et de calculer les perturbations indirectes médiées par les interactions arbre (ou bois mort)-sol-microbiome. Le but est donc de quantifier l'impact naturel ou anthropique (par exemple la fréquence des incendies, des différents types de gestion forestière, etc.) sur ces composés écologiques (champignons, bactéries, insectes) et de les comparer aux forêts "non perturbées", afin d'identifier les interactions écologiques significatives entre variables de réponse — par exemple température, précipitation, types de gestion, croissance de l'arbre. Il est donc utile d'examiner les approches proposées par les différentes disciplines et de discuter des possibilités d'application pour une gestion forestière qui intègre un plus large panel d'informations multidisciplinaires et recourt à des approches multicritères ; approches qui n'en sont aujourd'hui qu'à leurs balbutiements.

Toutefois, les modèles prévisionnels trouvent aussi leurs limites face à des situations jusqu'à présent non expérimentées, pouvant conduire à l'étonnement. Peut-on prendre des décisions économiques et sociétales majeures basées uniquement sur des projections ? Prédire la façon dont les effets du changement climatique pourraient évoluer au fil du temps et incorporer ces connaissances dans les décisions de gestion nécessite de multiples formes de connaissance et de nouvelles approches des décisions de gestion forestière. Ainsi, des partenariats qui intègrent les forestiers, les acteurs locaux, les politiques, des enseignants et des chercheurs, etc., issus de diverses disciplines peuvent construire une compréhension commune des défis futurs et faciliter une meilleure prise de décision dans la gestion forestière face au changement climatique en dépit d'une part d'incertitude incompressible. Pour ce "nouveau" cadre d'action, il nous faut alors développer de nouvelles pratiques et compétences, aptes à interagir avec l'incertain.

ASSOUPLIR LES CADRES DE GESTION, ET OUVRIR LA DÉCISION POUR AGIR ENSEMBLE DANS L'INCERTAIN

Au-delà de ce que peuvent apporter des modèles plus précis, globaux et complexes pour la décision, le contexte de grands défis génère également des situations dites "d'inconnu connu", où l'on est conscient du manque de connaissance, et "d'inconnu inconnu", où l'on ignore que nous manquons de connaissance. Par nature, les modèles ne peuvent appréhender ces situations qui finissent néanmoins par s'imposer à l'action. La situation de la forêt de Compiègne l'illustre parfaitement avec la découverte des hannetons en surpopulation et dont l'évolution est inconnue ; il faut donc apprendre à faire avec.

Ces situations d'inconnu impactent globalement nos pratiques, tant vis-à-vis des choix à prendre, que de la manière de les prendre. En effet, l'incertitude liée à l'évo-

lution des situations rend obsolète les dispositifs de planification traditionnels tels que les aménagements forestiers établis de manière fixe pour 20 ans. Ces dispositifs, tout en conservant un cap fondamental de long terme, doivent pouvoir être actualisés plus régulièrement avec des cadres d'action (procédures d'élaboration, scénarios sylvicoles…) plus souples, permettant d'adapter les décisions et actions selon l'évolution des situations.

De la même manière, les résultats d'économie forestière reposent souvent sur une valeur espérée de la forêt sur le long terme. Cette valeur est obtenue en pondérant un grand nombre de scénarios d'évolution probables de la forêt à l'avenir, pour obtenir une valeur moyenne espérée. Le cadre classique est donc de choisir comme base de l'aménagement forestier la sylviculture qui permettrait de maximiser cette valeur espérée. Cette mesure est néanmoins très imparfaite puisqu'elle ne peut pas non plus — par essence — prendre en compte les effets des "inconnus inconnus", qui peuvent néanmoins jouer un rôle majeur dans l'évolution des forêts, comme cela a pu être constaté dans le cas de la crise des scolytes ou celui des tempêtes (Deuffic & Moustié, 2010 ; Terrasson, 2000). De plus, la valeur considérée se réduit bien souvent à des indicateurs économiques, au détriment des autres indicateurs de gestion durable. Bien que ces carences commencent d'ores et déjà à être prises en compte, elles demeurent encore largement à être intégrées.

Finalement, pour faire face à l'augmentation des risques et à la complexité des situations dues aux grands défis, la planification forestière est également appelée à évoluer, en passant d'un système réduit à quelques acteurs, vers un système partagé entre les parties prenantes. Ces changements de pratiques permettent de diminuer l'incertitude quant aux attentes des parties prenantes en les intégrant dans le processus de décision, d'une part, et de partager le risque entre les partenaires, d'autre part.

Bien que ce contexte impacte profondément les pratiques et cadres d'action traditionnels, des pistes de réponses émergent localement pour faire face aux différentes situations (crises scolytes, hannetons forestiers, dépérissements...). Au-delà de ces réponses situées, la question des conditions ayant permis d'arriver auxdites solutions apparaît essentielle pour la gestion et la planification des forêts face aux grands défis. Cet enjeu soulève alors des questions managériales importantes liées aux changements de pratique : Comment permettre aux acteurs d'identifier des solutions ? Celles-ci peuvent-elles être généralisées ? Comment les acteurs font évoluer leurs pratiques ? Quelles compétences sont à développer ? Autant de questions déterminantes pour gérer les forêts de demain, et restent à explorer.

CONCLUSION

Comme un ornithologue en herbe élaborerait un modèle prédictif de la couleur des cygnes, en se basant sur un jeu de données constitué de ses nombreuses observations, il nous faut être précautionneux dans l'utilisation de nos modèles. Nécessairement, ils doivent être utilisés chaque fois que possible pour aider la décision, et perpétuellement être améliorés, notamment en croisant les communautés de chercheurs pour disposer d'une approche la plus holistique possible, c'est-à-dire travailler sur les frontières de recherche (les "inconnus connus", qui deviennent des "connus connus" grâce à l'effort de recherche). Dans notre cas, il s'agirait, pour notre ornithologue en herbe, de discuter au sein de sa propre communauté avec des ornithologues situés dans d'autres pays, ainsi que consulter d'autres spécialistes de l'écosystème plus globalement pour affiner ses connaissances.

Ce recours aux modèles doit ensuite être couplé avec l'autre face de la même pièce : des cadres d'actions adaptés et des acteurs en capacités de faire face aux situations inconnues et/ou inattendues, que les modèles ne peuvent prévoir tel que, pour notre ornithologue en herbe, la découverte d'un cygne noir (les "inconnus inconnus") (Taleb, 2011). ■

Frédéric Bonin réalise une thèse pour étudier la manière dont la pratique de la planification forestière évolue face aux grands défis climatiques et sociétaux. Cofinancée par l'ADEME et l'ONF, et rattaché au CEREFIGE, à l'UMR Silva (INRAE), et AgroParisTech, il est encadré par le Pr. Benoît Grasser (CEREFIGE, VP adj. à la politique scientifique de l'UL), et Meriem Fournier (Présidente du centre INRAE Grand Est). Frédéric mobilise pour cela les sciences de gestion en étudiant les pratiques des acteurs : comment sont-elles mises en œuvre ? Par quels instruments ? Quelles compétences et ressources sont nécessaires ? L'objectif, à terme, est d'identifier les conditions et leviers d'action qui facilitent l'émergence de solutions pour la planification forestière, afin de faire face aux grands défis.

Sundy Maurice étudie l'impact de la gestion forestière sur la biodiversité. Ses recherches visent à comprendre comment les organismes impliqués dans la dégradation du bois mort (champignons, bactéries et insectes) sont affectés par les différents modes de gestion de la forêt boréale. Elle s'intéresse à la richesse et la composition des espèces, ainsi qu'à la diversité génétique intra- et inter- populations. Actuellement rattachée à l'UMR IaM (INRAE, Champenoux), ses analyses reposent sur des jeux de données des traits d'histoire de vie liés à l'adaptation des champignons.

Félix Bastit réalise une thèse au Bureau d'Économie Théorique et Appliquée à AgroParisTech. Il s'intéresse aux impacts économiques des risques multiples sur les forêts tempérées. En effet, le changement climatique devrait mener à une augmentation des risques naturels et une augmentation de leurs différentes interactions et aura donc des conséquences à différentes échelles, depuis le propriétaire forestier jusqu'au commerce au sein de toute la filière. Il est donc crucial de bien appréhender l'impact de ces risques à grandes échelles pour comprendre les besoins d'adaptation de nos forêts et de la filière mais aussi afin d'en optimiser le potentiel d'atténuation.

RÉFÉRENCES

Boutefeu, B. (2005). L'Aménagement forestier en France : À la recherche d'une gestion durable à travers l'histoire. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 6(2). https://doi.org/10.4000/vertigo.4446

Brunier, L., Delport, F., & Gauquelin, X. (coord.) (2020). *Guide de gestion des crises sanitaires en forêt*. RMT AFORCE. 184 p.

Buma, B. (2015). Disturbance interactions : Characterization, prediction, and the potential for cascading effects. *Ecosphere*, 6(4), art70. https://doi.org/10.1890/ES15-00058.1

Cordonnier, T., & Gosselin, F. (2009). La Gestion forestière adaptative : Intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion. *Revue forestière française*, 61(2), 131-144. https://doi.org/10.4267/2042/28896

Deuffic, P., & Moustié, J. (2010). *Pins et feuillus, entre doutes et incertitudes : Les forestiers des Landes de Gascogne et la question de la multifonctionnalité des boisements feuillus après la tempête de 2009.* 114 p. [Rapport de recherche]. IRSTEA. https://hal.inrae.fr/hal-02593809

Dolez, A. (2021). Le Modèle qui cache la forêt : Les communautés de la recherche forestière à l'épreuve de l'impératif modélisateur. *Terrains & travaux*, 38, 71-94. https://doi.org/10.3917/tt.038.0071

Fibois Grand Est, Direction régionale de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt du Grand Est (2021). *Mémento de la filière forêt-bois du Grand Est.*

Gaudry, J, Brault, S., & Duez, F. (2017). *La Problématique hanneton en forêt : synthèse des connaissances 2013-2016 Forêts publiques de l'Oise*. DSF, 2017.

George, G., Howard-Grenville, J., Joshi, A., & Tihanyi, L. (2016). Understanding and Tackling Societal Grand Challenges through Management Research. *Academy of Management Journal*, 59(6), 1880-1895. https://doi.org/10.5465/amj.2016.4007

Gosselin, F. (2004). Intégrer recherche scientifique en écologie et gestion dans le cadre de l'ingénierie écologique : Intérêts et limites. *Ingénieries*, Spécial, 113-210.

IGN (2017). *Tempêtes de décembre 1999*. IGN. https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/tempete_1999.pdf

IGN (2020). *État et évolution des forêts françaises métropolitaines—Indicateurs de gestion durable 2020*. IGN. 307 p. https://foret.ign.fr/api/upload/print/IGD-2020-c255.pdf

IPCC (2022). *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change*. IPCC AR6 WG III; p. 2911. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf

Jactel, H., Petit, J., Desprez-Loustau, M.-L., Delzon, S., Piou, D., Battisti, A., & Koricheva, J. (2012). Drought effects on damage by forest insects and pathogens : A meta-analysis. *Global Change Biology*, 18(1), 267-276. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02512.x

Keenan, R.J. (2015). Climate change impacts and adaptation in forest management: A review. *Annals of Forest Science*, 72(2), Art. 2. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5

Kirilenko, A. P., & Sedjo, R.A. (2007). Climate change impacts on forestry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19697-19702. https://doi.org/10.1073/pnas.0701424104

Le Bouler, H. (2021). Larguer les amarres forestières et penser comme des nomades, de la conservation du passé à la restauration du futur. *Forêt Entreprise*, (259).

Lindner, M., & Verkerk, H. (2019*). How has climate change affected EU forests and what might happen next?* European Forest Institute. https://doi.org/10.36333/fs08

Ministère de l'Intérieur et des Outre-Mer (2022). *Retour d'expérience sur la saison des feux de forêts 2022 : Caroline Cayeux reçoit les acteurs de la lutte contre les incendies*. Ministère de l'Intérieur. http://www.interieur.gouv.fr/actualites/communiques/retour-dexperience-sur-saison-des-feux-de-forets-2022-caroline-cayeux-recoit

Nageleisen, L.-M., Bélouard, T., & Meyer, J. (2015). Le Hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* Fabricius 1801) en phase épidémique dans le nord de l'Alsace. *Revue forestière française*, 67(4), 353-366. https://doi.org/10.4267/2042/59290

ONF (2021). *Tempête de 1999 : 20 ans après, la forêt française face à de nouveaux défis*. Office national des forêts. https://www.onf.fr/+/62e::tempete-de-1999-20-ans-apres-les-forets-debout-et-de-nouveaux-defis.html

Roitsch, D. (2019). *Bitten by the same bug – German spruce in jeopardy*. Resilience Blog. https://resilience-blog.com/2019/12/02/bitten-by-the-same-bug-german-spruce-in-jeopardy/

Seidl, R., Schelhaas, M.-J., & Lexer, M.J. (2011). Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17(9), 2842-2852. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02452.x

Taleb, N.N. (2011). *Le Cygne noir suivi de Force et fragilité : La puissance de l'imprévisible réflexions philosophiques et empiriques*. Les Belles lettres. 604 p.

Terrasson, D. (2000). Quels débats sur la forêt après les tempêtes de décembre 1999 ? *Nature Sciences Sociétés*, 8(4), 76-80. https://doi.org/10.1016/S1240-1307(01)80011-X

Touffait, R. (2020). Situation des forêts européennes vis-à-vis des hannetons : impacts sur les peuplements et impasses en matière de gestion forestière. *ONF Rendez-vous techniques*, (65-66), 18-25.