



LES QUESTIONS - RÉPONSES

**Les risques pour les forêts
sont croissants et multiples :
comment s'en prémunir ?**



Céline PERRIER, *CNPF-IDF*
Céline MEREDIEU, *INRAE*
Philippe RIOU-NIVERT, *CNPF-IDF*

Auteurs : Céline PERRIER, CNPF-IDF
Céline MEREDIEU, INRAE
Philippe RIOU-NIVERT, CNPF-IDF

Citation du document : PERRIER C., MEREDIEU C. & RIOU-NIVERT Ph., 2026.
Les risques pour les forêts sont croissants et multiples : comment s'en
prémunir ? *Question Et*. Les cahiers du réseau AFORCE.
Collection de cahiers « Les Questions-Réponses ». RMT AFORCE. 40 pages.

Ont participé au financement de ce projet :

- le ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts
- l'interprofession nationale France Bois Forêt

Conception graphique et mise en page : Agathe Legrand

ISBN : 978-2-38558-111-4
© RMT AFORCE, 2026

LES QUESTIONS - RÉPONSES

Les risques pour les forêts
sont croissants et multiples :
comment s'en prémunir ?

Céline PERRIER, *CNPF-IDF*

Céline MEREDIEU, *INRAE*

Philippe RIOU-NIVERT, *CNPF-IDF*



PRÉAMBULE

Les dernières publications du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) font état d'une évolution alarmante des températures à l'échelle planétaire. Ce changement inquiète les forestiers qui font face depuis plusieurs années déjà à des impacts de plus en plus perceptibles (baisse de croissance, mortalités de branches, dépérissements d'arbres, etc.). Ils craignent qu'à cette évolution progressive viennent s'ajouter des à-coups climatiques (sécheresses, gels précoces ou tardifs, etc.) avec des impacts ayant de graves conséquences secondaires telles que des incendies ou des invasions par des bioagresseurs pouvant s'étendre sur de vastes territoires. La forêt devra aussi faire face à des changements plus globaux tels que des besoins et usages nouveaux du bois, une demande sociétale croissante, l'émergence de maladies liée à la mondialisation des échanges commerciaux.

Dans ce contexte, les forestiers s'interrogent sur l'attitude à adopter : faut-il cesser d'intervenir dans les peuplements pour laisser faire la nature, poursuivre les interventions comme prévu ou modifier la sylviculture par anticipation ? Les questions sont nombreuses et témoignent d'une inquiétude grandissante. Pour éclairer les décisions, le réseau AFORCE travaille à mettre à disposition des forestiers des synthèses de connaissances, un panorama des outils d'aide à la décision disponibles et des éléments techniques permettant d'appuyer l'évolution des pratiques et de rendre plus efficace l'adaptation des forêts.

PRÉSENTATION DE LA COLLECTION

Réalisé dans le cadre des actions du réseau AFORCE, avec l'appui d'un groupe de travail multi-acteurs, ce cahier appartient à une **Collection de cahiers « Les Questions-Réponses » centrée sur l'adaptation des forêts au changement climatique**. Chacun des cahiers de cette collection s'appuie sur les éléments de connaissance et le savoir-faire accumulés au sein et en dehors du réseau AFORCE ces dernières années (réalisation d'outils, questionnements des praticiens, définitions, simulations, bilans d'expérimentations, etc.), et sur une synthèse de documents sélectionnés dans la littérature scientifique et technique.

Les questions traitées dans cette collection de cahiers sont regroupées autour de cinq thématiques : diagnostic, choix des essences, gestion, renouvellement des peuplements et anticipation du risque associé au changement climatique. **Les réponses apportées visent à aider au raisonnement du forestier et à soutenir ses décisions pratiques** : comprendre l'enjeu, effectuer un bon diagnostic, utiliser les outils appropriés et identifier un panel d'options alternatives dans lesquelles piocher.

À QUI S'ADRESSE CETTE COLLECTION ?

Elle s'adresse prioritairement aux gestionnaires, aux propriétaires forestiers avertis, aux conseillers et aux agents de développement.

Elle peut également être mise à profit par les décideurs publics, les formateurs, les enseignants et les étudiants.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
I. RAPPEL DES CONNAISSANCES	8
1. Caractérisation de la notion de risque	9
1.1. Les trois composantes du risque	9
1.2. Les multiples facettes des risques	11
1.2.1. Du risque unique au multirisque	11
1.2.2. Les mécanismes d'interrelation entre aléas	12
1.2.3. Les différentes natures d'aléas en forêt	13
2. Évolution des composantes du risque en fonction des changements globaux : un emballement ?	15
2.1. Tendances d'évolution des enjeux pour la forêt	15
2.2. Tendances d'évolution des aléas en lien avec le changement climatique	16
2.3. Tendances d'évolution des vulnérabilités aux aléas biotiques et abiotiques	17
3. Les défis autour de la prévention des risques en contexte de changement global	18
II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS	20
1. Identification et caractérisation des risques et de leur évolution potentielle	21
1.1. Détermination des enjeux associés au système considéré	21
1.2. Identification et caractérisation des aléas potentiels	22
1.3. Quelques pistes pour l'évaluation de la vulnérabilité du système	24
1.4. Compilation des informations récoltées	27
2. Gestion des risques	29
2.1. Adaptation des enjeux	29
2.2. Intervention autour des aléas	30
2.3. Réduction des vulnérabilités	30
III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE	35
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36

CONSEILS DE LECTURE

Le vocabulaire nécessaire à la compréhension est défini en notes de bas de page. Si besoin, d'autres définitions sont consultables à cette adresse : www.reseau-aforce.fr

Les références de type A₃, C₁, etc. incluses dans le texte sont des renvois aux autres questions traitées dans les cahiers « Les Questions-Réponses ».

INTRODUCTION

Intégrer les risques a toujours pris une part importante dans les choix de gestion forestière en raison de l'exposition des forêts à divers facteurs de dommages abiotiques (tempêtes, incendies, gels...) et biotiques (pullulations d'insectes, épidémies de pathogènes...). Les aléas impactent parfois brutalement ou plus insidieusement les forêts, et plus précisément l'ensemble de leurs fonctions : économique, écologique ou sociétale. Par rapport à d'autres activités comme l'agriculture, le temps long du cycle forestier implique une exposition de manière répétée à des aléas exceptionnels avec des enjeux socio-économiques variables selon le stade de développement des peuplements.

Le changement climatique vient bouleverser cette appréciation du risque par le forestier. Les aléas sont aujourd'hui plus nombreux, plus fréquents, plus intenses et parfois sans précédent (bioagresseurs allochtones¹, températures hors-normes...). De plus, des interactions inédites entre certains aléas - jusqu'alors étudiés indépendamment - doivent être prises en compte (sécheresse et pullulation d'insectes, par exemple). En outre,

la vulnérabilité des forêts et leurs enjeux associés évoluent aussi du fait des changements globaux.

Face à ces nouvelles menaces et dans ce contexte d'incertitudes, les adaptations nécessaires de la gestion ne peuvent être définies qu'au cas par cas, après une évaluation la plus fine possible de la situation. Cette évaluation doit inclure l'appréciation des risques auxquels le système forestier est exposé, en considérant avec méthode chacune de ses composantes : enjeux, aléas et vulnérabilités. Les connaissances tant des aléas et de leurs interactions que des vulnérabilités sont encore limitées au regard des impacts du changement climatique, mais elles progressent grâce à la notion intégratrice de multirisque. Quelques outils et guides récents permettent d'accompagner le raisonnement du forestier. **Ce dernier dispose ainsi de pistes de réflexion pour évaluer la situation et, lorsque c'est possible, pour définir comment intervenir sur les composantes du risque afin de le réduire et de minimiser les dommages associés.**

¹ Qualifie un taxon, une population ou une communauté - ici végétale - rencontré dans des territoires dont il n'est pas originaire et y ayant généralement été introduit par l'homme de façon directe ou indirecte. À distinguer des « autochtones » reconnus originaires du territoire où ils se trouvent actuellement (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

I. RAPPEL DES CONNAISSANCES



1. Caractérisation de la notion de risque

Le risque¹ correspond à l'éventualité d'apparition de conséquences négatives pour les sociétés humaines et pour les écosystèmes, compte tenu de la diversité des valeurs et des objectifs qui leur sont associés. **Dans le contexte du changement climatique, le risque est modifié par les impacts potentiels des évolutions du climat. Ceux-ci résultent de l'interaction dynamique entre aléas, vulnérabilité des systèmes et enjeux exposés à ces aléas.** Les réponses humaines aux évolutions climatiques (adaptations et atténuations) qui n'atteindraient pas les objectifs visés peuvent aussi avoir des effets secondaires négatifs sur toutes les composantes du risque et l'aggraver.

1.1. Les trois composantes du risque

Le risque résulte de l'interaction dynamique entre trois composantes¹ (cf. *Illustration 1*) :

■ **L'enjeu qui est la valeur des fonctions assurées par l'écosystème forestier et qui sont susceptibles d'être impactées.** Il s'évalue en déterminant les impacts sur ces fonctions et sur l'ampleur de la détérioration des services écosystémiques forestiers rendus. On parle aussi de « valeurs socio-économiques exposées ».

Un peuplement d'épicéa adulte à visée de production de bois, par exemple, a globalement un enjeu économique fort. Une attaque de scolytes sur ce peuplement causera des pertes financières importantes si le bois mort exploité est dévalué ou si les prix du marché sont bas au moment de l'exploitation en période de crise. L'enjeu économique est plus faible pour un taillis vieillissant considéré comme difficilement exploitable. Dans ces deux exemples, l'enjeu n'est jamais qu'économique et lié à la valeur du bois. Mais selon le cas, il pourrait aussi être social (paysager, patrimonial...) ou environnemental (perte de biodiversité, libération du carbone stocké...). Enfin, l'enjeu peut varier au fil du temps pour un même élément considéré.

■ **L'aléa qui désigne la survenue d'un événement susceptible de provoquer des impacts, des dommages ou des pertes : une tempête, un incendie, une invasion d'insectes ravageurs...**

Le changement climatique peut modifier les caractéristiques des aléas : fréquence d'apparition, intensité (vitesse de vent, puissance d'un incendie...) et distribution spatiale (localisation, étendue). Pour certains phénomènes, leur intensité est statistiquement liée

¹ D'après IPCC, 2023.

à leur fréquence d'apparition. Par exemple, pour l'aléa tempête, les vitesses de vent les plus faibles sont fréquentes tandis que les plus fortes (valeurs extrêmes) surviennent moins souvent. Il est souhaitable (mais difficile) d'estimer une période de retour des valeurs extrêmes d'un aléa qui correspond à la moyenne à long terme de la durée séparant un événement d'une certaine intensité d'un événement d'intensité égale ou supérieure (pullulation périodique de la processionnaire des pins, par exemple).

■ **La vulnérabilité qui est la pré-disposition (d'un écosystème, d'un peuplement ou d'un arbre) à être affecté négativement par un (ou des) aléas.** Elle peut être considérée comme l'inverse de la résistance. Elle est fonction notamment de sa sensibilité à l'aléa (ou susceptibilité à subir des dommages) et de son incapacité à y faire face et à s'adapter (*cf. §II.1.3*). La vulnérabilité va déterminer l'ampleur du dommage causé par l'aléa. Par exemple, une essence ou un groupe d'essences sera vulnérable à un insecte ravageur spécialisé (la processionnaire du chêne) et pas à un autre, ou bien à un bioagresseur invasif auquel il fait face pour la première fois (la chalarose du frêne, par exemple).



Autre cadre d'analyse du risque

La définition du risque s'appuie dans ce Cahier sur celle généralement admise dans les sciences de l'environnement et pour le contexte du changement climatique. D'autres définitions existent : le Forum économique mondial le définit par exemple comme « *la possibilité qu'un événement ou une situation se produise et qui, s'il se produisait, aurait un impact négatif sur une part importante du PIB mondial, de la population ou des ressources naturelles* »*. Il distingue trente-trois risques majeurs, répartis en cinq catégories : **risques sociétaux, technologiques, géopolitiques, économiques** (tels que l'inflation ou la récession) et **environnementaux**. Ces derniers incluent la perte de biodiversité, les phénomènes météorologiques extrêmes, la raréfaction des ressources naturelles, les catastrophes naturelles non météorologiques et les pollutions.

Dans le cadre de l'analyse des risques naturels associés aux écosystèmes forestiers, il apparaît essentiel de considérer les interconnexions entre ces différentes catégories. Les effets d'un aléa naturel, tel qu'une tempête majeure, peuvent en effet être amplifiés ou atténués, selon le contexte socio-économique ou politique dans lequel ils se produisent. **Ainsi, une crise économique ou des tensions sociales concomitantes peuvent modifier de manière significative la vulnérabilité des systèmes forestiers et la capacité de réponse des acteurs concernés.**

* Se référer à Elsner & al., 2025.

Ces trois composantes sont dynamiques : elles peuvent varier dans le temps mais aussi en fonction de l'évolution des sociétés ou d'interventions humaines, dont celles visant l'adaptation au changement climatique. Le sens et l'ampleur de ces évolutions sont incertains (cf. C1).

1.2. Les multiples facettes des risques

1.2.1. Du risque unique au multirisque

Les risques associés au changement climatique sont de nature complexe :

- ils sont caractérisés par une forte incertitude ;
- ils dépendent des trajectoires de développement socio-économique (cf. Illustration 1) ;

Les trois folioles du trèfle* représentent les composantes – aléa, enjeu, vulnérabilité – de l'évaluation du risque. Le cadre récapitule les pressions externes : système climatique et scénarios. La flèche en pointillés marrons représente les conséquences de la réalisation de l'événement dommageable sur l'objet de l'analyse et sur les pressions externes. L'impact attendu des scénarios est figuré par une flèche grise symbolisant l'effet de rétroaction (positif ou négatif) vers le système climatique (via les émissions de gaz à effet de serre et des changements d'utilisation des sols).

* Le GIEC, dans son dernier rapport propose une représentation avec une foliole supplémentaire intitulée « Réponse » (cf. Illustration 8a). Ce choix de représentation a pour objectif de souligner le fait que les risques peuvent découler des actions ou inactions des humains face au changement climatique.

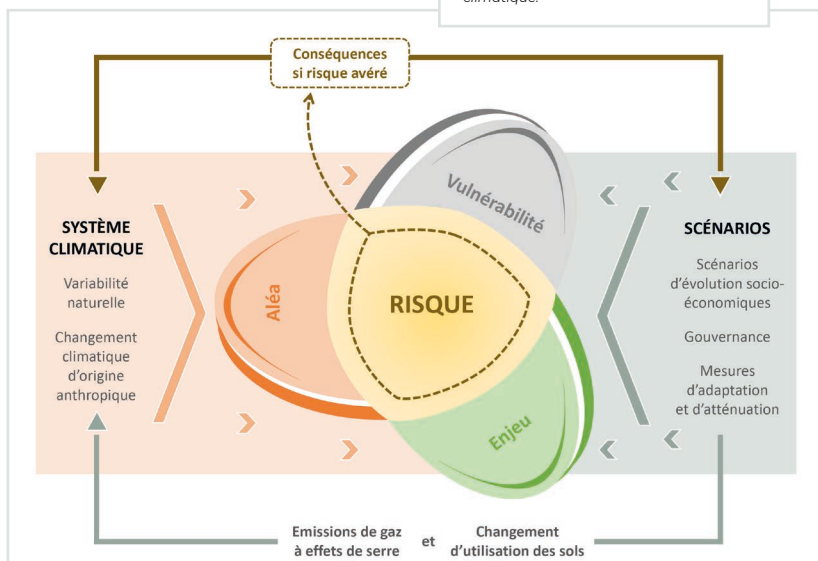


Illustration 1 : Les déterminants du risque (d'après IPCC, 2014).

- les réponses apportées pour lutter contre le changement climatique et s'adapter viennent interagir de manière dynamique avec les différentes composantes du risque ;
- l'évolution du système soumis à ces risques n'est pas linéaire du fait de la variabilité naturelle du climat et des à-coups (rares mais à forte conséquence), ou parce que le système affecté atteint un point de bascule, ou enfin parce que le système connaît des états stables alternatifs ;
- les composantes d'un risque peuvent être en interaction avec les composantes d'un autre, mais aussi avec des risques sans lien avec le changement climatique. Ceci est dû aux interrelations sous-jacentes entre aléas et parfois entre vulnérabilités (cf. § 1.1.2.2). Ces interactions peuvent se situer à différentes échelles : un risque local peut, par exemple, être influencé par des changements à plus grande échelle.

On distingue le risque unique généré par un aléa, les risques multiples et le multirisque. On désigne par risques multiples, la coexistence sur un territoire de plusieurs risques uniques, sans dépendances établies entre eux (juxtaposition de risques). La notion de multirisque indique l'existence de dépendances entre plusieurs

risques, ou entre les composantes de plusieurs risques uniques.

Le multirisque implique ainsi des effets synergiques dépassant la simple additivité des dommages associés à des risques multiples indépendants².

1.2.2. Les mécanismes d'interrelation entre aléas

Les aléas peuvent être indépendants (ex. : sécheresse et surpopulation d'herbivores), ou bien être en relation (ex. : tempête et épidémies de scolytes). Les possibilités d'interrelations qui en découlent sont classées en 3 catégories³ (cf. *Illustration 2*) :

■ relation de déclenchement (a) :

un aléa déclenche la survenue d'un autre aléa différent. On parle dans ce cas de cascade de risques. C'est le cas par exemple quand après un incendie surviennent des phénomènes d'érosion des sols, voire de glissement de terrain. Lorsque le même aléa se propage et qu'il y a emballement, on parle alors plutôt d'effet domino. Il peut s'agir, par exemple, de la propagation d'un feu d'une habitation à la forêt, puis d'une parcelle à une autre ;

■ relation d'amplification (a) :

un aléa modifie la probabilité ou l'ampleur d'un autre (qui peut être soit diminué, soit augmenté), en transformant les conditions

² Se référer à Curt, 2021.

³ Adapté de Hochrainer-Stigler & al., 2023 et de Curt, 2021.

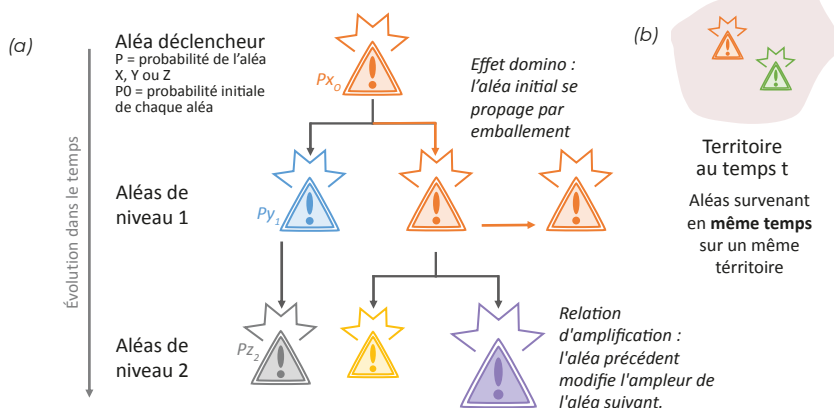


Illustration 2 : Les différents types de mécanismes d'interrelation entre aléas (d'après Curt, 2021).

environnementales. Une sécheresse peut, par exemple, augmenter la probabilité de survenue d'une épidémie de scolytes - l'espèce profitant d'un affaiblissement des arbres - ou aggraver les dégâts d'un incendie de forêt ;

■ relation de combinaison (b) :

deux ou plusieurs aléas indépendants affectent la même région en différé ou dans un même laps de temps (coïncidence d'événements en parallèle ou séquence d'événements en série, tel qu'un épisode de sécheresse suivi d'une tempête).

Dans le cas d'une succession rapprochée, les impacts associés à chacun de ces aléas se chevauchent alors que la récupération après l'événement primaire est toujours en cours. Il y a alors interrelations entre les vulnérabilités.

Quand ils sont ainsi en interrelation, les aléas peuvent créer plus de dommages que la somme des aléas pris individuellement, d'où la nécessité d'une approche multirisque permettant de considérer l'ensemble des aléas, des vulnérabilités et des enjeux.

1.2.3. Les différentes natures d'aléas en forêt

Les aléas en forêt dits **abiotiques** (cf. Illustrations 3 a et b) regroupent les événements aléatoires de nature physique. On y trouve les vents forts ou les tempêtes, les incendies, les sécheresses (déficit hydrique dans l'air ou dans le sol), la chaleur (canicules, coups de chaleur), le froid (températures négatives, gelées précoces ou tardives, neige et verglas), l'excès d'eau (inondations, hydromorphie du sol) et les événements gravitaires (chutes de bloc, érosion). Ces aléas peuvent être amplifiés par le

changement climatique et plus directement par des actions humaines (accentuation de la sécheresse par des prélèvements d'eau, augmentation par la canicule et par le vent, de la vitesse de propagation de feux d'origine humaine, etc.).

Les aléas en forêt sont qualifiés de **biotiques** (cf. *Illustration 3 c*) s'ils sont liés à des bioagresseurs des plantes : insectes ravageurs, champignons pathogènes et divers autres parasites (oomycètes, nématodes, bactéries et virus). Ils peuvent être aussi le fait de mammifères (ongulés, rongeurs). Les bioagresseurs peuvent être autochtones ou allochtones (cas des invasions biologiques).

On distingue également les aléas en fonction des impacts qu'ils provoquent :

■ **aléas ayant un impact direct**, à dommages immédiats, considérés comme catastrophiques du point de vue du forestier : tempête, verglas, sécheresse intense, grand froid, incendie, épidémie de scolytes...

■ **aléas ayant un impact indirect**, à dommages différés, qui sont plus insidieux. Dans ces situations, les impacts sont le résultat de la répétition sur plusieurs années des aléas ou du cumul avec d'autres aléas pouvant modifier la vulnérabilité du système forestier. Par exemple, une sécheresse peut, sans tuer les arbres, réduire leur croissance et les rendre sensibles à des bioagresseurs.

Illustration 3 :
Quelques exemples
des différents aléas
biotiques et abiotiques
affectant les forêts :
(a) vent fort,
(b) feu de forêt,
(c) attaque de scolytes.



(a)
Source : Francis Barbotin © CNPF



(b)
Source : Jérémy Abgrall © CNPF



(c)
Source : Sylvain Gaudin © CNPF

2.

Évolution des composantes du risque en fonction des changements globaux : un emballement ?

Le changement global, terme désignant tous les changements liés aux modifications climatiques et à l'anthropisation, impacte les forêts comme tous les autres écosystèmes. Les observations sur les composantes du risque pour les forêts laissent présager que ces impacts pourraient continuer à s'accroître et à se complexifier.

2.1. Tendances d'évolution des enjeux pour la forêt

Les attentes de la société vis-à-vis des forêts et des services écosystémiques qu'elles rendent, évoluent progressivement, en parallèle des changements globaux. Voici quelques exemples de ces attentes :

■ Enjeux environnementaux :

il est attendu des forêts et de leur sol qu'ils constituent un **puits de carbone capable d'atténuer les effets du changement climatique**. Or, ce rôle de séquestration est aujourd'hui contrarié par des mortalités plus fortes dans certaines régions. Les forêts sont aussi attendues comme dans le passé pour **limiter l'érosion des sols**, fonction d'autant plus importante que la fréquence des épisodes pluvieux intenses s'accroît.

Mais là aussi, ce rôle est parfois contrarié par des déperissements, par des mortalités intenses ou par des problèmes de renouvellement naturel ;

■ Enjeux économiques :

les attentes autour des **produits bois** s'amplifient en raison des besoins nouveaux pour limiter l'usage de matériaux plus énergivores et moins « vertueux » (stockage de carbone et substitution) ;

■ Enjeux sociétaux : les citoyens expriment une volonté croissante de pouvoir préserver, notamment aux abords des villes, des forêts accessibles, qui constituent à la fois des **espaces de détente et d'usages récréatifs**, ainsi que des **îlots de fraîcheur** en période de forte chaleur.

À l'échelle locale, les propriétaires forestiers revoient leurs objectifs de gestion pour s'adapter aux contraintes climatiques. Dans certains cas, cette adaptation se traduit par un recentrage sur le seul objectif de maintien du couvert forestier afin de préserver les contributions immatérielles et régulatrices que la forêt apporte.

2.2. Tendances d'évolution des aléas en lien avec le changement climatique

L'évolution du climat s'apparente à un mouvement de fond caractérisé par une augmentation régulière des températures et une transformation du régime des précipitations. Le tout est, de plus, perturbé périodiquement par des événements extrêmes. Les sécheresses et canicules sont à la fois plus rapprochées, plus sévères et plus longues (cf. *Illustration 4*). Ce contexte a un effet direct sur l'écosystème forestier et sur certains aléas biotiques.

En effet, du fait de l'**allongement de la période de végétation**, les forestiers doivent faire face à des dégâts de **gel précoce** en automne sur des végétaux mal aoûtés¹ et de **gel tardif** au printemps sur des arbres qui débourrent trop tôt. Ces perturbations se traduisent également par des **décalages phénologiques**² avec le cycle des **bioagresseurs** qui peuvent devenir plus virulents au printemps (développement de l'oidium...). Certains de ces bioagresseurs sont favorisés par les évolutions climatiques : les températures plus clémentes limitent leur mortalité en hiver (scolytes, processionnaire du pin...) et multiplient le nombre de générations en été. Ces effets favorables facilitent leur augmentation et une expansion

ou un déplacement de leur aire de répartition (transformation des caractéristiques de l'aléa). Le changement climatique provoque ainsi une transformation des équilibres dynamiques entre les populations hôtes-agresseurs et leur environnement, qui s'étaient installés au cours d'une longue coévolution. À cela s'ajoute la menace des **bioagresseurs invasifs**, insectes et agents pathogènes (champignons, bactéries...), dont les arrivées sont en progression constante sous l'effet de l'accroissement exponentiel des échanges internationaux, des temps de transports plus courts favorables à leur survie, et d'un climat parfois devenu propice à leur installation. L'exemple récent de la chalarose du frêne, apparue en 2008 en France et généralisée rapidement à la grande majorité du pays, provoquant une mortalité intense et progressive de la septième essence feuillue française, en est une illustration. L'arrivée du nématode du pin en France hexagonale en 2025, apparition longtemps redoutée, en est un autre exemple. Avec des sources d'entrée difficilement contrôlables (en particulier la filière des végétaux d'ornement), la menace d'une soudaine émergence de **maladies inédites** ou d'infestation par des **bioagresseurs nouveaux** constitue, avec le changement climatique lui-même, l'autre épée de Damoclès qui plane sur les forêts européennes³.

¹ Ayant subi une lignification provoquant le durcissement des rameaux de l'année à la fin de leur phase de croissance (en général à la fin de l'été) (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

² Relatif aux diverses phases (floraison, débournement, feuillaison, etc.) du cycle vital de l'espèce (d'après Bastien & Gauberville, 2011).

³ Se référer à Robinet & al., 2025.



Illustration 4 : Rougissement sur hêtre en fin d'été, suite à un épisode de sécheresse.

2.3. Tendances d'évolution des vulnérabilités aux aléas biotiques et abiotiques

À ce jour, de nombreux arbres sont affaiblis et stressés par le réchauffement du climat et par la récurrence plus fréquente d'autres aléas. La ressource en eau se fait notamment plus rare ou est moins bien répartie sur l'année. Lors de sécheresses importantes, la plupart des espèces bloquent leur transpiration pour éviter les pertes en eau : la croissance est alors réduite. De tels épisodes peuvent avoir des conséquences graves s'ils génèrent la rupture des flux d'eau dans les tissus conducteurs de sève de l'arbre, suivie de la formation de bulles d'air : **cavitation puis embolie gazeuse**. L'alimentation en eau et en nutri-

ments est alors compromise. Si la contrainte est intense ou qu'elle dure trop longtemps, on peut assister à une chute prématurée du feuillage, à la mortalité de branches et dans certains cas à celle de l'individu⁴. La répétition des sécheresses rend ainsi les arbres plus vulnérables. Ils peinent à récupérer entre deux épisodes successifs (« théorie du boxeur » qui encaisse un premier coup mais s'effondre aux suivants). Ils sont plus sensibles aux **parasites de faiblesse** qui deviennent épidémiques (scolytes...).

Les canicules, souvent associées aux sécheresses, brûlent quant à elles les tissus des végétaux (nécroses du tronc, rougissement des jeunes pousses, perte de feuilles...).

⁴ Se référer à Courbet & al., 2022.

Au niveau du peuplement, la vulnérabilité à l'incendie est augmentée par la sécheresse et par les mortalités qui en résultent : litière plus épaisse et plus sèche, présence d'arbres morts...

Le changement climatique vient modifier les conditions de croissance des espèces dans une région donnée, mais à une vitesse supérieure à leur vitesse de migration naturelle (cf. B₁). Des **dépérissements** qui peuvent être massifs au-delà d'un certain seuil de tolérance sont déjà observés. Ainsi, l'épicéa se trouve rapidement éliminé en plaine (et jusqu'à 800 m d'altitude), et peut-être le seront aussi demain le sapin, le hêtre ou le chêne pédonculé.

Les facteurs potentiels de vulnérabilité de la forêt doivent être analysés à différentes échelles : arbre, peuplement, paysage (cf. A₁, A₂, et A₃). Par ailleurs, ils doivent être considérés dans leur dynamique d'évolution, et relativement aux interventions du forestier.

Ce dernier, par sa gestion, peut contribuer à les réduire, comme évoqué plus loin, mais peut aussi favoriser l'émergence de nouvelles vulnérabilités (mauvaises pratiques d'exploitation, manque de maîtrise, choix inadaptés, inaction, etc.) ou accentuer des vulnérabilités existantes.

3. Les défis autour de la prévention des risques en contexte de changement global

Les changements globaux nécessitent le développement d'une **culture du risque** qui existait déjà chez le forestier averti mais qui doit aujourd'hui être renouvelée et renforcée : il doit apprendre à se préparer à faire face à plus d'imprévus. La **prise de conscience** d'une diversification des aléas, et une augmentation de leur fréquence et de leur gravité s'est imposée suite aux catastrophes d'ampleur nationale enregistrées depuis une vingtaine d'années et qui ont été fortement médiatisées : tempêtes de 1999 et 2009, canicule de 2003,

chalarose en 2008, épidémie de scolytes en 2019-2020 et incendies en 2022 et 2025, première détection du nématode du pin en 2025, pour ne citer que les principales et les plus récentes.

Cette prise de conscience impose désormais une **démarche d'évaluation des risques**, exercice complexe en raison de la diversité des aléas, de leurs interactions potentielles, et de la nécessité de les appréhender à différentes échelles spatiales et temporelles. Une identification

a minima des zones les plus exposées et les plus vulnérables apparaît aujourd'hui indispensable pour y engager en priorité la transition nécessaire (cf. *Encart 2*).

Cette démarche est essentielle pour **anticiper et mettre en place les moyens de prévention appropriés**. Ce n'est pas toujours possible mais des actions préventives permettent de limiter certaines catastrophes (cf. § II.2.2) : les infrastructures de surveillance et de lutte contre les incendies de forêt, la surveillance aux frontières et en pépinières contre l'invasion de bioagresseurs allochtones, le choix et la sylviculture d'espèces adaptées aux conditions pédo-climatiques, etc.

Par ailleurs, **la communication, la sensibilisation et l'accompagnement des forestiers autour des risques** est un défi de taille : mise en garde sur les **risques multiples et leurs interactions**, sur les **pratiques à risques** (grandes surfaces de peuplements monospécifiques et au même stade de développement, inadéquation du choix d'une essence compte tenu de l'évolution de la station, dégradation des sols lors des exploitations...) (cf. *C2*).

Enfin, une mise en perspective objective avec l'ensemble des autres contraintes qui impactent

fortement les possibilités d'action est nécessaire : coûts des travaux, dégâts d'ongulés, évolution des débouchés du bois et instabilité des marchés, enjeux sociétaux, évolution des aides publiques ou privées, disponibilité des essences de remplacement...



N°2

Détermination de zones à enjeu de production considérées comme préoccupantes pour le futur

Dans le cadre des actions du RMT AFORCE, une méthode a été élaborée pour cartographier des « zones à enjeu »^a sur l'ensemble du territoire français. Les zones identifiées sont celles qui présentent un fort enjeu de production de bois (s'appuyant sur l'analyse des données de l'IGN^b) et qui sont dans le même temps considérées comme déjà préoccupantes vis-à-vis du changement climatique ou qui pourraient le devenir (estimation s'appuyant sur des indices calculés par trois modèles différents). Cette démarche exploratoire a été développée avec une approche par essence, puis avec une approche multi-essences pour mettre en évidence une préoccupation globale vis-à-vis du changement climatique pour toutes les essences d'un territoire donné. Ce travail a été mené pour guider le choix de sites d'expérimentation à installer en priorité dans le réseau d'évaluation de ressources génétiques forestières pour le futur (réseau ESPERENSE^c).

^a Se référer à Kebli & al., 2022.

^b Institut Géographique National.

^c Se référer à Kebli et al., 2019.

II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS



1. Identification et caractérisation des risques et de leur évolution potentielle

Pour venir en appui à la planification de sa gestion, le forestier doit identifier et caractériser les risques menaçant le système forestier¹ qu'il a en gestion. Cette démarche anticipative vise à passer, autant que faire se peut, **d'un risque subi à un risque « mesuré et choisi »**. Cela revient à pouvoir prendre des décisions en ayant connaissance des incertitudes, avec une estimation des probabilités d'occurrence des aléas, de leur intensité et de l'importance des dommages à craindre.

Cette étape consiste donc à compiler un certain nombre d'informations pour déterminer les **enjeux** associés au système étudié, identifier et caractériser les **aléas** potentiels menaçant ces enjeux, et enfin évaluer la **vulnérabilité** du système aux aléas identifiés. L'analyse doit être réalisée en s'appuyant sur l'expérience et les observations passées, et avec l'aide d'outils de prospective. Elle doit être actualisée progressivement en fonction des effets des pratiques sylvicoles, qui peuvent accroître ou réduire le risque.

1.1. Détermination des enjeux associés au système considéré

Les forêts répondent à plusieurs enjeux de par les services multiples qu'elles permettent d'assurer :

production de bois, protection de la biodiversité, accueil du public, protection contre les risques naturels, puits de carbone, qualité des paysages... La détermination des enjeux implique d'identifier le ou les éléments (personnes, biens, services) qui sont exposés à un ou plusieurs aléas et leur valeur intrinsèque (nature du service rendu, rareté, valeur monétaire...). Chaque enjeu identifié est ensuite analysé pour définir le contexte spécifique pouvant le faire varier (évolution du peuplement, choix de gestion, environnement de la forêt...). La reconstitution d'un peuplement, par exemple, est une phase sensible et implique un fort investissement, mais l'enjeu économique de sa potentielle destruction est faible à ce stade, comparé à celui associé à un peuplement adulte.

Il convient également de définir les imbrications possibles avec les autres enjeux locaux (par exemple, enjeu de protection des sols associé aux enjeux de protection des personnes en contexte de montagne). Enfin, cette première échelle d'appréciation doit être replacée dans un contexte plus large pour tenir compte de la dynamique possible d'évolution des enjeux sous l'influence de facteurs externes

¹ Dans ce cahier, le système forestier considéré fait référence à l'écosystème forestier à différentes échelles : peuplement, forêt, massif ou territoire.

Source : Olivier Martineau © CNPF



Illustration 5 : Relevé dans le cadre d'une évaluation de la biodiversité en forêt.

(modification des débouchés du bois, évolution des sociétés, mise en place de mesures d'adaptation ou d'atténuation, fluctuation des marchés internationaux, transformations du contexte géopolitique...).

Pour apprécier l'enjeu associé à la biodiversité, le forestier peut d'abord se renseigner sur les zonages réglementaires environnementaux existants (Natura

2000, réserves naturelles, forêts de protection...). Il peut ensuite compléter par un calcul de l'indice de Biodiversité Potentielle (IBP)². Cette méthode permet une évaluation indirecte de la biodiversité ordinaire à l'échelle d'un peuplement forestier (cf. Illustration 5).

1.2. Identification et caractérisation des aléas potentiels

Il est nécessaire d'identifier les aléas auxquels le système forestier considéré est exposé afin d'anticiper les dommages possibles et le déclenchement d'éventuelles situations de crises. Les outils permettant de caractériser complètement un aléa sont encore rares et restent à développer (cf. Encart 3). Les projections futures qu'ils proposent permettent non pas de définir à quel moment précis surviendront des perturbations majeures, mais d'apprécier la probabilité d'occurrence et l'intensité de l'aléa considéré sous différents scénarios. À cette étape, il est intéressant pour le forestier de réaliser une analyse simultanée des aléas de façon à prendre en compte rapidement leurs possibles dépendances et interactions. Cette vision est nécessaire pour disposer d'un aperçu complet du multirisque.

² Se référer à Emberger & al., 2016.

“ N°3

Focus sur quelques outils d'intérêt pour caractériser les aléas

DRIAS, les futurs du climat^a

Le site propose des indicateurs de la composante météorologique du danger d'incendie de forêt : deux indices de sécheresse, deux indices de danger de feu de la végétation vivante et un indice de danger de feu de la végétation morte. Ces 5 indicateurs sont proposés au pas de temps annuel, à l'échelle d'une saison estivale ou hivernale. Une carte interactive permet de sélectionner la zone géographique d'application sur la France métropolitaine (maille 8 km). Sur la base de ces 5 indicateurs, le portail DRIAS propose une douzaine de simulations régionalisées avec différents modèles climatiques, plusieurs scénarios du GIEC, la TRACC^b et plusieurs étendues temporelles de 1953 à 2100.

INRAE améliore l'offre DRIAS avec le modèle **Firelihood**^c qui projette une probabilité de feux de forêt. Il fonctionne à l'échelle journalière et sur une maille de 2 à 8 km de côté. Ce modèle simule successivement l'apparition de feux supérieurs à 1 ha, puis la superficie finale parcourue par chacun de ces feux. Les probabilités d'occurrence des feux de différentes tailles sont estimées à partir de variables explicatives, notamment le danger météorologique d'incendie (indice forêt météo ou IFM) et la surface forestière, sur la base des incendies recensés dans la région et la période d'intérêt.

Enfin, d'autres indicateurs du secteur agro-météorologique sont aussi accessibles : indice de **sécheresse météorologique** (cumul de précipitations), indice de **sécheresse édaphique** (humidité du sol), **précipitations extrêmes**, etc.

BILJOU^d

Ce site propose le calcul d'un bilan hydrique^e journalier des peuplements forestiers et permet la consultation de cartes de sécheresse des sols pour les forêts de France hexagonale (maille 8 km). Différents scénarios sylvicoles et climatiques peuvent être explorés afin d'observer et de quantifier la consommation en eau des peuplements ainsi que les sécheresses (caractérisées individuellement par trois indicateurs : précocité, durée et intensité) et leur récurrence sur la période passée (période disponible de 1959 à 2020) et sur la période future par rapport à la référence (1976-2005) : futur proche (autour de 2055), futur lointain (autour de 2085), pour deux scénarios d'émission de gaz à effets de serre : RCP 4.5 et RCP 8.5^f.

Plateforme nationale FORET-GIBIER^g

Elle permet de consulter sur carte les zones de signalement de dégâts occasionnés par les grands herbivores dans les forêts (abroussement de la pousse terminale, écorçage, frottis des jeunes arbres et dégâts racinaires). Ces signalements sont effectués par les propriétaires forestiers privés et publics, leurs conseillers et leurs gestionnaires. Les peuplements sensibles (projets de reboisement) sont également renseignés. Des indices de pression par les grands herbivores sur les propriétés en sont déduits ainsi que des synthèses de l'équilibre forêt-gibier associées.

^a Se référer à RMT AFORCE 2021

^b Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC).

^c Se référer à Pimont & al., 2023.

^d Se référer à INRAE, 2023.

^e Somme algébrique des flux d'eau entrant et sortant du peuplement forestier (extrait de Bertin & al., 2016).

^f Representative Concentration Pathways (RCP) - Scénarios d'évolution future des concentrations de gaz à effet de serre établis par le GIEC dans son 5^{ème} rapport.

^g Se référer à GIP ATEGERI, 2024.

1.3. Quelques pistes pour l'évaluation de la vulnérabilité du système

L'évaluation de la vulnérabilité du système doit se faire par rapport à un aléa précis mais, elle peut aussi s'envisager pour un ensemble d'aléas possiblement en interaction (vulnérabilité globale).

L'analyse est à mener pour le moment présent et pour différentes hypothèses de scénarios climatiques futurs. Elle est de nature prospective puisqu'elle doit s'intéresser à des aléas qui ne se sont jamais produits par le passé et puisqu'elle prend en compte une vulnérabilité qui peut se modifier dans le temps avec l'évolution du système. Aussi, plus on se projette sur le long terme, plus cette évaluation est complexe.

L'appréciation de la vulnérabilité passe par l'étude de ses deux composantes :

- **la sensibilité**, qui s'apprécie au regard des caractéristiques du système forestier influençant les effets immédiats d'un aléa.
Par exemple, une faible réserve utile en eau du sol peut

entraîner une sensibilité accrue à la sécheresse. À ce titre, des indicateurs peuvent être utilisés pour caractériser la sensibilité selon l'aléa considéré, tels que : inadéquation de l'espèce avec la station (autécologie des espèces³), association d'espèces incompatibles, existence de facteurs limitants ou prédisposants (sols caillouteux, engorgement du sol, tassement, pente, exposition sud...), indice foliaire élevé, surdensité, dépérissement préexistant, erreur de choix de gestion ou interventions sylvicoles non adaptées, degré de maturité, inflammabilité... Il peut y avoir parmi ces critères de sensibilité, des facteurs externes au système : environnement exclusivement en monoculture, présence d'un ravageur affectant les peuplements alentours, absence d'un dispositif de surveillance des incendies, etc.

- **la capacité du système à faire face et à s'adapter**, qui s'évalue en analysant les caractéristiques qui conditionnent sa réponse à moyen terme après la survenue d'un aléa. Pour cela, sont à observer les traits de vie⁴ des espèces (plasticité phénotypique⁵, sélection naturelle, mutations

³ Se référer à RMT AFORCE, 2021.

⁴ Correspond à l'ensemble des informations qualitatives et quantitatives associées à la biologie (caractéristiques morphologiques, anatomiques, physiologiques, biochimiques et phénologiques) et à l'écologie des organismes (relations avec l'environnement, réaction aux facteurs environnementaux, influence sur les propriétés des écosystèmes...).

⁵ Capacité d'un génotype (ensemble des caractères héréditaires propres à un individu et son milieu) à produire différents phénotypes (ensemble des caractères observables – morphologiques, anatomique, et physiologiques - d'un individu) en réponse à des conditions environnementales (ex : évolution de la forme du système racinaire pour s'adapter au vent ou production de feuilles plus petites en adaptation à la sécheresse).

génétiques, épigénétique⁶...), les facteurs de résilience du peuplement (pouvant être liés à sa composition, sa structure ou sa capacité de régénération post-perturbation) et les mécanismes de défense déjà observés face aux maladies ou aux insectes ravageurs. Généralement, ces mécanismes naturels de récupération sont suffisants pour faire face aux aléas, mais dans certains cas (perturbations graves ou prolongées), le système ne se

rétablit pas et on observe sa dégradation progressive. Les - 22°C rencontrés en 1985 par exemple dans le Sud-Ouest de la France, événement exceptionnel pour la région, ont entraîné la mortalité des pins maritimes d'origine portugaise. Cette limite est appelée point de basculement ou seuil écologique (cf. *Illustration 6*). Ces seuils sont souvent méconnus (cf. *Bi*). Un aléa peut contribuer à en révéler.

Source : Gilles Bossuet © CNPF



Illustration 6 : Peuplement de Mélèze affecté par plusieurs aléas d'origine climatique.

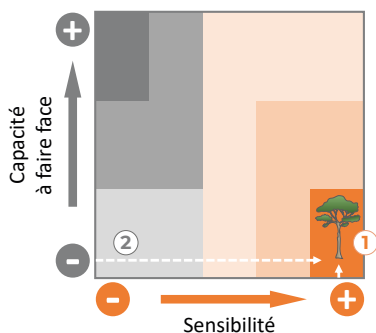
⁶ Mécanismes intervenant dans la variation de l'expression des gènes pour une même séquence de l'ADN.

Cette évaluation s'appuie toujours sur un diagnostic précis et régulier du peuplement (historique, gestion..., sans négliger une observation plus fine, des espèces, voire des arbres) (cf. A₁), sur un diagnostic de la station (climat, sol, topographie) incluant l'évolution climatique locale (cf. A₂) et sur un diagnostic sanitaire permettant de détecter les signes précoces de dépérissements éventuels (cf. A₃)⁷. Ce diagnostic forestier global doit être complété par une observation de l'environnement (des parcelles ou du massif selon le cas) et des éléments non forestiers adjacents (champs, zones humides et rivières, routes, rails, habitations...), afin d'identifier les facteurs externes pouvant influencer la vulnérabilité.

La vulnérabilité, qui résulte du croisement de ces informations, peut être représentée sous la forme de **cartes de vulnérabilité** (cf. outils cités dans les cahiers A₁, A₂ et A₃) regroupant l'ensemble des facteurs ou distinguant chacun d'eux (les composantes de la vulnérabilité sont alors cartographiées séparément). Le degré global de vulnérabilité du système peut être représenté sous la forme d'une matrice croisant les composantes (cf. Illustration 7), à décliner pour chaque aléa et pour chaque stade du cycle sylvicole.

Illustration 7 : Exemple de représentation du degré global de vulnérabilité d'un système forestier.

Le cas présenté correspond à un peuplement de pin maritime non débroussaillé avant la première éclaircie, au sein d'un massif homogène composé de parcelles de la même essence et de même classe d'âge.



→ sa **sensibilité** est très forte ① car il n'a pas été débroussaillé et parce que les peuplements alentours sont du même âge, et sont dans la même situation de quantité de biomasse disponible ; sa sensibilité peut-être encore aggravée si les ouvrages de DFCI* ne sont pas adaptés ou entretenus.

→ sa **capacité à faire face** est très faible ② parce qu'il n'y a pas de peuplements matures à proximité.

Considérant cela, la position du peuplement dans la matrice (case orange foncée) indique un degré de vulnérabilité élevé.

Il est possible d'intervenir pour réduire la sensibilité : débroussaillage, adaptation des ouvrages de DFCI à la configuration particulière du peuplement et du massif, organisation et diversification de la gestion des peuplements alentours.

* Défense de la Forêt Contre les Incendies (DFCI).

⁷ Les cahiers A₁, A₂ et A₃ répertorient quelque-uns des outils aujourd'hui utilisables pour le diagnostic.

1.4. Compilation des informations récoltées

Une des difficultés de cette phase d'évaluation réside dans le fait qu'il y a un grand nombre d'informations à recueillir, à compiler et à analyser pour parvenir à une évaluation du risque (cf. *Illustration 8*). De plus, il faut se placer à plusieurs échelles spatiales et temporelles (passé, présent et futur) (cf. *Illustration 9*).

Quelques outils d'accompagnement de la réflexion sont aujourd'hui utilisés tels que les prospectives, les matrices

de danger (croisant intensité et probabilité d'occurrence par aléa ou croisant aléas et vulnérabilités), des indices de danger... qui peuvent aider à arbitrer les situations. Mais sans outils plus intégrateurs pour croiser les informations, on peut être tenté de rester sur une approche simple, en étudiant chaque aléa individuellement pour un système donné, puis en les croisant deux à deux. Pour simplifier, ce croisement peut être mené sur une échelle d'évaluation spatiale et/ou temporelle réduite et en examinant uniquement une vulnérabilité globale associée au couple d'aléas.

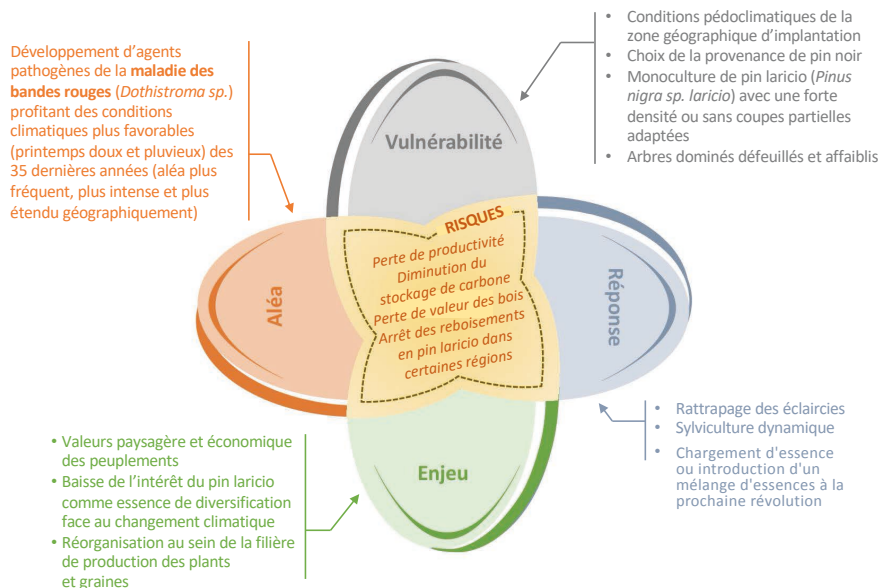
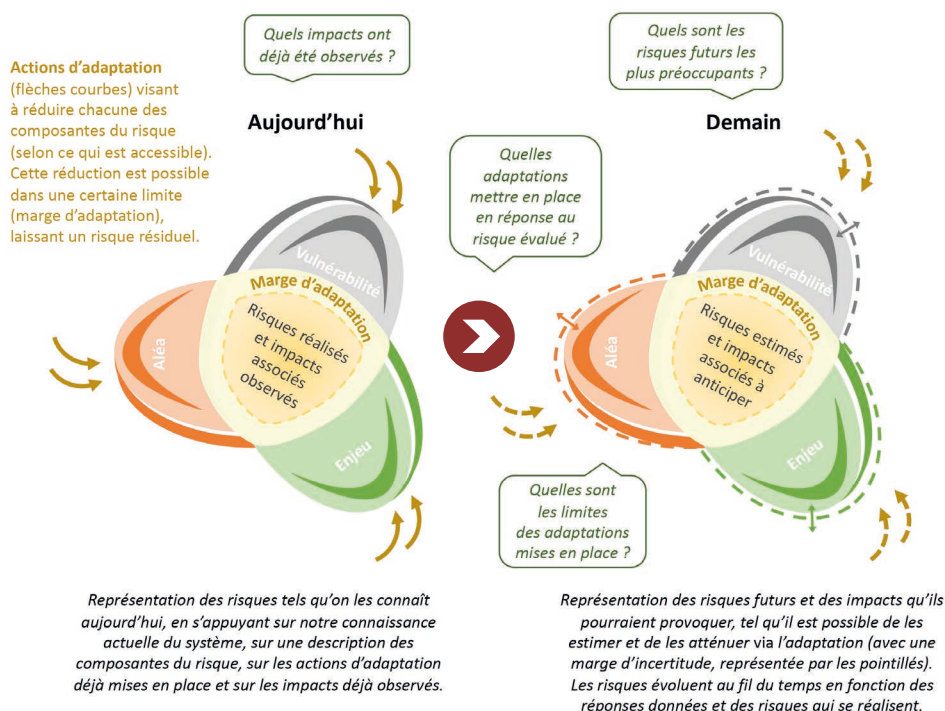


Illustration 8 : Exemple d'évaluation du risque associé à l'aléa « maladie des bandes rouges ».*

* Dans cet exemple, la représentation choisie est celle proposée par le GIEC dans son rapport de 2022.

Illustration 9 : Illustration des questionnements structurant l'identification, la caractérisation des risques et de leur évolution potentielle, ainsi que les leviers d'action par la gestion (d'après IPCC, 2022).



Cependant, une telle approche considérant les aléas de manière indépendante (sans interactions) altère l'analyse et peut conduire à des prises de décisions inadaptées. **Passer à une évaluation multi-risque plus complète (multi-aléas et multi-vulnérabilités) est donc préférable pour éviter cela.** Pour autant, faire face à la complexité de l'analyse et à l'impossibilité de disposer d'une visualisation synthétique et lisible des risques peut aussi

avoir pour effet de paralyser l'action.

En attendant de pouvoir disposer d'outils agrégateurs, il est important d'avoir conscience de ce biais d'analyse pour objectiver la situation et rechercher les compromis les plus ajustés.

Enfin, rappelons la nécessité de renouveler souvent l'évaluation des risques sur la base de nouvelles connaissances sur les composantes de risque et leurs interactions.

2. Gestion des risques

La gestion des risques s'aborde à toutes les échelles spatiales (une épidémie de scolytes au niveau européen entraîne par exemple une saturation du marché du bois qui a des répercussions locales). **Elle consiste à minimiser, voire à éviter lorsque c'est possible, les dommages potentiels d'aléas pouvant survenir et affecter le système.** Pour cela, une fois réalisées les étapes d'identification et de caractérisation des risques, et de leur évolution potentielle, il faut s'interroger sur les paramètres sur lesquels il est possible d'intervenir parmi les facteurs de vulnérabilité, les aléas et les enjeux. Puis, il convient de définir des interventions nécessaires : mesures de gestion - progressives (ajustements au fil de l'eau *via* les éclaircies, modification du planning des interventions) ou plus radicales (changement d'essence, plantation, abandon d'une production commerciale...) -, ou arbitrages autour des enjeux associés au système forestier (*cf.* § II.2.1).

La marge de manœuvre peut être étroite dans certaines situations (lorsqu'une crise est en cours par exemple⁸), mais généralement, des ajustements sont toujours possibles. Le choix de l'action et de la trajectoire d'adaptation sont dans tous

les cas dépendants de la situation et du forestier (niveau d'appréhension du risque, attitude face au risque). C'est à lui que revient la décision sur le choix des risques qu'il est prêt à prendre.

2.1. Adaptation des enjeux

On peut viser une gestion intégrée des risques qui optimise les articulations entre un cocktail d'enjeux jugés importants. À titre d'illustration, le diagnostic et la mise en évidence des risques à l'échelle d'un peuplement peuvent amener un propriétaire forestier à modifier son objectif de gestion et ainsi, à transférer l'enjeu principal sur un autre. Un peuplement d'une essence sensible à la sécheresse sur une station à faible réserve utile en eau du sol en versant sud sera par exemple considéré comme très exposé à des aléas de type sécheresse ou coup de chaleur. Le forestier peut alors soit envisager un renouvellement avec une autre essence selon son âge, soit abandonner l'enjeu économique lié à la production de bois en limitant les investissements et prévoir les interventions nécessaires au maintien d'un état compatible avec la fourniture de services écosystémiques non marchands tels que la régulation climatique, la protection des sols ou

⁸ Se référer à Brunier et al., 2020.

les valeurs socio-culturelles. L'enjeu n'est alors plus le même et le risque associé à la production de bois diminue. On constate aussi une modification de la hiérarchisation des enjeux lorsque des aides sont apportées pour compensation de dommages potentiels (assurances) ou pour la reconstitution (plan chablis, aides publiques à la replantation...).

2.2. Intervention autour des aléas

Par nature, les aléas échappent en grande partie à notre contrôle. Pour autant, la prévention peut avoir un rôle majeur pour réduire leurs impacts en amont, avant qu'ils ne surviennent, ainsi qu'à des échelles plus larges (au travers des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre par exemple). À titre d'illustration, une information du grand public (*cf. Illustration 10*), ainsi que des intervenants en forêt, autour des causes de départs de feu en période de sécheresse peut être efficace.

La réduction de l'aléa passe aussi par les moyens de lutte mis en place. C'est le cas par exemple des infrastructures de détection et d'intervention sur les départs de feu (coupures de combustible, tours de guet, points d'eau... La prévention est aussi déterminante dans le cas des aléas biotiques par la mise en

place d'une surveillance accrue. Elle est utile au niveau du peuplement, mais aussi à différentes échelles : forêt, massif, territoire (appui des correspondants observateurs du DSF⁹ - *cf. A2*). Au niveau national, un dépistage des invasifs aux frontières et dans les échanges commerciaux peut réduire considérablement ce type d'aléa (limitation de l'émergence de bioagresseurs).

Enfin, dans une approche multi-risque, intervenir sur les dommages d'un aléa peut influencer sur la surveillance ou l'intensité d'un autre et permettre d'éviter une nouvelle crise : par exemple, l'évacuation rapide des bois de crise issus d'une tempête ou d'un incendie (vidange) et leur arrosage dans les zones de stockage longue durée peuvent éviter les proliférations de scolytes. De même, les travaux de restauration des terrains incendiés (fascinage...) permettent de limiter l'érosion ou les coulées de boues.

2.3. Réduction des vulnérabilités

Le forestier possède une marge de manœuvre importante pour réduire les vulnérabilités des peuplements et ainsi atténuer le risque et augmenter la résilience du système forestier.

Les actions possibles doivent être ajustées en fonction de la nature des

⁹ Département de la Santé des Forêts du ministère en charge des forêts (DSF).



Illustration 10 : Panneau d'information en forêt pour prévenir des feux de forêt et sensibiliser aux enjeux associés.

menaces, du contexte spécifique de la forêt concernée et des moyens du propriétaire (cf. *Tableau suivant*). Il s'agit majoritairement d'opérations de gestion (sylviculture, choix d'essence...), mais pas seulement : la réglementation, les mesures incitatives, la formation et la vulgarisation participent également, par ricochet, à encourager et à faciliter les transitions et transformations nécessaires.

Face à des probabilités de survenance d'aléas très élevées, réduire la

vulnérabilité à ces aléas peut consister en une transformation de la forêt. Par exemple, suite à l'épidémie de scolytes dans le Grand Est (2018-2021), une transformation des peuplements sinistrés a été engagée pour favoriser des essences moins vulnérables et introduire une plus grande diversité d'espèces afin d'atténuer le risque de nouvelles pullulations. Cette gestion, marquant une rupture avec les pratiques jusqu'alors mises en œuvre, devra reposer sur un diagnostic précis.

Menaces	Pistes d'action pour contribuer à réduire les vulnérabilités
Sécheresses et canicules	■ Choisir/favoriser des essences (ou provenances) résistantes (cf. B₁). ■ Selon les essences choisies et le contexte, planter en ambiance forestière (sous couvert ou dans le recrû) (cf. D₂ et D₃). ■ Au cours de la vie du peuplement, viser une diminution de l'interception des pluies et de la consommation d'eau via une réduction de l'indice foliaire du peuplement¹ par des éclaircies raisonnées (modification du couvert et de la structure du peuplement) (cf. C₂).
Incendies	■ Privilégier des essences peu vulnérables au feu (faible combustibilité, forte résilience) mais toujours adaptées à la station (cf. B₁). ■ Installation de bandes feuillues pour des peuplements forestiers résineux. ■ Maintien des ripisylves boisées. ■ Maintien (ou création) des zones dites de coupure de combustible (pare-feux). ■ Choisir plutôt un traitement régulier (à un étage dominant) dans les zones d'interface habitations/forêt. ■ Assurer un débroussaillage des strates basses, et élagage de la strate arborée (obligations légales de débroussaillage²). ■ Élaguer sur les interfaces avec les habitations et les dessertes (obligations légales de débroussaillage²). ■ Optimiser la croissance des arbres. ■ Favoriser l'alternance de parcelles d'âges et d'essences différents.
Attaques parasitaires	■ Choisir des essences tolérantes aux bioagresseurs connus (cf. B₁). ■ Entretenir la vigueur des peuplements (station, sylviculture) (cf. A₂). ■ Privilégier des mélanges feuillus-résineux et des alternances d'essences différentes à l'échelle d'une même parcelle ou dans les haies (cf. C₂). ■ Appliquer, quand elles existent, les procédures d'éradication vis-à-vis de bioagresseurs allochtones. ■ Éliminer les arbres atteints et réaliser des éclaircies sanitaires.

¹ Correspond à la surface foliaire du peuplement contenue dans la strate feuillée du peuplement projetée par unité de surface de sol (extrait de Bertin & al., 2016).

² Se référer à Durand & al., 2023.

Menaces	Pistes d'action pour contribuer à réduire les vulnérabilités
Gels	■ Ne pas planter dans les trous à gelée³. ■ Privilégier des essences tolérantes (cf. B1). ■ Veiller à conserver une ambiance forestière. ■ Être vigilant sur les dates de plantation (selon les régions).
Vents forts et tempêtes	■ Veiller à une bonne installation des systèmes racinaires des essences choisies (cf. B1). ■ En sylviculture régulière : pratiquer des éclaircies précoces et tendre vers des peuplements plus clairs (résistance), composés d'arbres avec un bon coefficient d'élancement et sans créer de trouées. ■ En sylviculture irrégulière : tendre vers des peuplements clairs. ■ Organiser la gestion des coupes à l'échelle du territoire et en tenant compte des vents dominants.
Pratiques de gestion inadaptées	■ Organiser la formation et la vulgarisation sur les techniques sylvicoles et les bonnes pratiques. ■ Informer les exploitants sur la mécanisation responsable (cf. D1 et D2).
Grands herbivores	■ Instaurer/assurer un équilibre sylvo-cynégétique⁴ et mettre en place des protections pour les plants lorsque cet équilibre est rompu. ■ S'assurer de l'exécution du plan de chasse.

³ Zone dans lesquelles, du fait d'un dénivelé ou d'un positionnement topographique (fond de vallée par exemple), l'air froid s'accumule et augmente le risque de formation de gel sous certaines conditions météorologiques.

⁴ Se référer à Brossier & Pallu, 2016.

III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE



1. Afin d'anticiper au mieux les risques, il est nécessaire de bien connaître la forêt, ses forces (capacité adaptative) et ses faiblesses (vulnérabilités) et les capacités d'actions (moyens...). Le diagnostic forestier doit pour cela être renforcé à toutes les échelles de gestion (cf. A₁, A₂ et A₃).
2. Face à l'incertitude associée à l'évolution des aléas et à leur probabilité d'occurrence, il est recommandé d'éviter de rester dans l'inaction, au risque de voir s'aggraver la situation. Ce n'est pas parce qu'on n'a pas une connaissance parfaite que l'on ne doit pas agir (cf. C₁).
3. Pour mettre en place une gestion intégrée des risques, il faut raisonner autant que possible la gestion en tenant compte du multirisque (multi-aléas, multi-vulnérabilité).
4. Se tenir informé de l'évolution des méthodes de prévision météorologique qui pourraient aider à mieux planifier les interventions en forêt (pluies abondantes, canicules) ou à piloter la prévention des feux (canicule + sécheresse + vent).
5. S'informer et se former en continu afin d'actualiser ses connaissances sur les changements climatiques, les risques et les outils facilitant leur anticipation.
6. Rechercher la résilience des peuplements afin d'assurer une continuité après l'occurrence d'un aléa, en diversifiant les essences, les types et les structures des peuplements, à la fois au sein des peuplements et entre eux, et en mettant en œuvre des sylvicultures aux objectifs variés (cf. C₂).
7. Organiser l'action en travaillant par zonages : prioriser les zones en tenant compte des enjeux et des niveaux de vulnérabilité aux aléas auxquels ces zones sont exposées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES POUR ALLER À L'ESSENTIEL

- Birot Y., Loustau M.-L., Tendron G., Hadley M., Terreaux J.-P. & Gizard M., 2017. La forêt face aux risques - Chapitre 5. In « La forêt et le bois en 100 questions ». Académie d'Agriculture de France. pp. 5.01.1-5.11.5.
- Birot Y., Landmann G. & Bonhême I., 2009. La forêt face aux tempêtes. Éditions Quae. Collection Synthèses. 433 pages.
- Bréda N., 2023. Vulnérabilité, aléa, adaptation, résilience : des concepts utiles pour analyser, comprendre et gérer les crises sanitaires en forêt. Revue Forestière Française, n° 74 (2). pp. 109-120.
- Curt Th. & Hély Ch. (coord.), Barbero R., Dupuy J.-L., Mouillot F. & Ruffault J., 2022. Feux de végétation. Comprendre leur diversité et leur évolution. Éditions Quae. Collection Enjeux sciences. 136 pages.
- Jactel H., Desprez-Loustau M.-L., Marçais B., Piou D., Robinet Ch. & Roques A., 2012. Évolution des risques biotiques en forêt. Innovations Agronomiques, n° 18. pp. 87-94.
- ONERC, 2014. L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change. La Documentation française. Coordination par la RMT AFORCE. 184 pages.
- Rigolot É. & Savazzi R., 2016. Les incendies de forêts : quelle évolution du risque et comment les propriétaires forestiers peuvent y faire face. Forêt méditerranéenne t. XXXVII, n° 4. pp. 267-269.
- Robinet Ch., Saintonge F.-X., Tassus X. & Brault S. (coord.), 2025. Invasion et expansion d'insectes bioagresseurs forestiers. Quels risques pour la forêt française dans le contexte des changements globaux ? Éditions Quae. Collection Synthèses. 312 pages.
- Saintonge F.-X. & Nageleisen L.-M. (coord.), Boutte B., Goudet M., Husson C., Piou D. & Riou-Nivert Ph., 2023. La santé des forêts. Diagnostic, prévention et gestion. 2^{ème} édition. Département de la Santé des Forêts et Institut pour le Développement Forestier. 639 pages.
- Saintonge F.-X., Husson C., Goudet M., Auger-Rozenberg M.-A. & Marçais B., 2020. Les bioagresseurs invasifs dans les forêts françaises : passé, présent et avenir. Revue Forestière Française, n° LXXII-2-2020. pp. 119-135.

RÉFÉRENCES PRATIQUES *(plateformes, guides et outils cités)*

- Bertin S. & Perrier C. (coord.), Balandier Ph., Becquey J., Bonal D., Bréda N., Riou-Nivert Ph. & Sevrin E., 2016. Le bilan hydrique des peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion. RMT AFORCE. 190 pages.
- Brossier P. & Pallu J., 2016. Le guide pratique de l'équilibre forêt gibier. Fédération des Chasseurs des Côtes d'Armor. 79 pages.
- Brunier L., Delport F. & Gauquelin X. (coord.), 2020. Guide de gestion des crises sanitaires en forêt. RMT AFORCE. 184 pages.
- Courbet F., Doussan C., Limousin J.-M., Martin-St Paul N., & Simioni G., 2022. Forêts et changement climatique. Comprendre et modéliser le fonctionnement hydrique des arbres. Éditions Quae. 144 pages.
- Durand J.-M., Piveteau V., Cannard Ph., Leuret Ch. & Mortier F. (coord.), 2023. Politique de prévention et de lutte contre l'incendie de forêt dans un contexte d'extension et d'intensification du risque dû au changement climatique. Rapport – Tome 1 & 2. CGAAER, IGA et IGEDD. 135 (T1) et 248 (T2) pages.
- Emberger C., Larrieu L. & Gonin P., 2016. Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt. Comprendre l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP). Édition CNPF-IDF. 59 pages.
- GIP ATEGERI, 2022. Plateforme nationale Forêt-Gibier. Disponible sur : <https://plateforme-nationale-foret-gibier.cartogip.fr/> (Consulté le 26 février 2026).
- INRAE, 2023. Biljou, modèle de bilan hydrique forestier. Disponible sur : <https://appgeodb.nancy.inrae.fr/biljou/fr/> (Consulté le 26 février 2026).
- Kebli H., Perrier C., Riou-Nivert Ph., Rousselle Y., Legay M., & Morneau F., 2022. Comment déterminer l'exposition aux changements climatiques des zones de production forestière française ? Méthodologie utilisée dans le projet ESPERENSE pour cibler les zones d'intérêt pour l'installation d'essais de comparaison d'essences et de provenances. Revue Forestière Française, n° 73(5). pp. 523-540.
- Lemaire J. & Cano B. (coord.), 2022. Bioclimsol, outil collaboratif pour agir face aux dérèglements climatiques. Dossier. Forêt Entreprise n° 264. pp. 10-56.
- MTECT, 2015. DRIAS les futurs du climat. Disponible sur : <http://www.drias-climat.fr/> (Consulté le 24 novembre 2025).
- Pimont F., Dupuy J.-L., Ruffault J., Rigolot É., Opitz Th., Legrand J. & Barbero R., 2023. Projections des effets du changement climatique sur l'activité des feux de forêt au 21^{ème} siècle : Rapport final. Contribution technique à la mission d'expertise conjointe sur l'extension des zones à risque d'incendie de forêt et de végétation à échéance du milieu et fin du siècle dans le contexte du changement climatique. INRAE. 106 pages.
- RMT AFORCE, 2021. ClimEssences. Disponible sur : <https://climessences.fr> (Consulté le 26 février 2026).

AUTRES RÉFÉRENCES CONSULTÉES

- Bastien Y. & Gauberville C. (coord.), 2011. Vocabulaire forestier : écologie, gestion et conservation des espaces boisés. Institut pour le Développement Forestier. 608 pages.
- Bastit F., Brunette M. & Montagné-Huck C., 2023. Pests, wind and fire : A multi-hazard risk review for natural disturbances in forests. *Ecological Economics*. Volume 205. 37 pages.
- Curt C., 2021. Multirisk : What trends in recent works? – A bibliometric analysis. *Science of the Total Environment*, 763, 142951.
- Dupuy J.-L., Boivin T., Duché Y., Martin-St Paul N., Pimont F. & Rigolot É., 2015. Impact du changement climatique sur les risques en forêt : le cas de l'incendie et de ses interactions avec la sécheresse et les pullulations d'insectes. *Innovations Agronomiques*, n° 47. pp. 29-50.
- Elsner M., Atkinson G., Zahidi S., 2025. Global Risks Report 2025. 20th Edition. Insight report. World Economic Forum. 104 pages.
- Gallina V., Torresan S., Critto A., Sperotto A., Glade Th. & Marcomini A., 2016. A review of multi-risk methodologies for natural hazards: consequences and challenges for a climate change impact assessment. *Journal of Environmental Management*, n° 168. pp. 123-132.
- Hochrainer-Stigler S., Sakić Trogrlić R., Reiter K., Ward P. J., de Ruiter M. C., Duncan M. J., Torresan S., Ciurean R., Mysiak J., Stuparu D. & Gottardo S., 2023. Toward a framework for systemic multi-hazard and multi-risk assessment and management. *iScience*, n° 26. 18 pages.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A : Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pages.
- IPCC, 2023. Annex I: Glossary [Reisinger, A., D. Cammarano, A. Fischlin, J.S. Fuglestad, G., Hansen, Y. Jung, C. Ludden, V. Masson-Delmotte, R. Matthews, J.B.K. Mintenbeck, D.J. Orendain, A. Pirani, E. Poloczanska & J. Romero (eds.)]. In: *Climate Change 2023*:

Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee & J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. pp. 119-130.

■ Marçais B., 2018. Interactions entre changement climatique et agents pathogènes. *Revue Forestière Française*, n° LXX - 6-2018. pp. 645-652.

■ Mélières M.-A. & Riou-Nivert Ph., 2019. Scolytes, chablis, canicules et changement climatique : un mélange explosif ! *Forêt Entreprise*, n° 248. pp. 54-60.

■ Nageleisen L.-M., 2018. Effets du changement climatique sur les insectes forestiers. *Revue Forestière Française*, n° LXX - 6-2018. pp. 653-660.

■ Rigolot É. & Savazzi R., 2016. Les incendies de forêts : quelle évolution du risque et comment les propriétaires forestiers peuvent y faire face. *Forêt méditerranéenne* t. XXXVII, n° 4. pp. 267-269.

■ Robin C. & Desprez-Loustau M.-L., 2018. Émergences de maladies chez les arbres forestiers : définitions, concepts et recommandations. *Revue Forestière Française*, n° LXX - 6-2018. pp. 569-577.

REMERCIEMENTS

Le réseau AFORCE remercie le groupe de travail qui s'est mobilisé pour imaginer collectivement cette Collection de cahiers « Les Questions-Réponses » et en assurer la conception, depuis la sélection des questions à traiter jusqu'à la validation des contenus rédigés : *Céline Perrier (CNPF-IDF, coordination du projet)*, *Jean-Michel Escurat (EPLEFPA des Vosges)*, *Damien François (Forêt d'ici)*, *Jean Ladier (ONF)*, *Guy Landmann (GIP ECOFOR)*, *François Lebourgeois (AgroParisTech)*, *Céline Meredieu (INRAE)*, *Emmanuel Montailler (Chambre d'Agriculture Pays de la Loire)*, *Julie Pargade (CNPF Nouvelle-Aquitaine)*, *Philippe Riou-Nivert (CNPF-IDF)*, *Jacques Rousselin (Experts Forestiers de France)*, *Ceydric Sedilot-Gasmi (SFCDC)*, *Éric Sevrin (CNPF-IDF)*. Il remercie également le Comité Spécialisé Gestion Durable du ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts, consulté pour sélectionner les questions.

Les auteurs adressent aussi leurs chaleureux remerciements à l'ensemble des relecteurs qui ont participé à la sélection et à l'organisation des contenus permettant de répondre à la question posée et qui se sont investis dans les différentes étapes de relecture : *Marielle Brunette (INRAE)*, *Eric Rigolot (INRAE)*, *François-Xavier Saintonge (MASA/DGAL/DSF)* et plus spécifiquement *Hervé Jactel (INRAE)* pour son aide à la structuration du cahier.

Enfin, les auteurs témoignent leur gratitude aux personnes ayant accepté de mettre à disposition leurs photos pour l'illustration de ce cahier.

DANS LA MÊME COLLECTION

Diagnostiquer l'avenir d'un peuplement en contexte de changement climatique

- A₁** La démarche de diagnostic : comment évaluer l'avenir d'un peuplement, d'une forêt ou d'un massif en contexte de changement climatique ?
- A₂** Comment faire évoluer le diagnostic sanitaire d'un peuplement en contexte de changement climatique ?
- A₃** Comment faire évoluer le diagnostic stationnel forestier en contexte de changement climatique ?

Choisir les essences à planter ou à favoriser en contexte de changement climatique

- B₁** Sur quels critères supplémentaires choisir les essences à planter ou à favoriser en contexte de changement climatique ?

Raisonnement la gestion des peuplements en place en contexte de changement climatique

- C₁** Quelles sont les incertitudes liées au changement climatique et comment impactent-elles la gestion des forêts ?
- C₂** Quels itinéraires sylvicoles privilégier pour accompagner l'adaptation de la forêt au changement climatique ?

Relever le défi du renouvellement des peuplements en contexte de changement climatique

- D₁** Comment renouveler un peuplement dans le contexte du changement climatique ?
- D₂** Quelles nouvelles précautions prendre pour la plantation et l'entretien des jeunes peuplements en contexte de changement climatique ?
- D₃** Quelles nouvelles précautions prendre pour la conduite d'une régénération naturelle en contexte de changement climatique ?

Prévenir et gérer les risques en lien avec le changement climatique et leurs impacts

- E₁** Les risques pour les forêts sont croissants et multiples : comment s'en prémunir ?



AFORCE est un réseau mixte technologique (RMT) consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique.

Créé en 2008, il rassemble aujourd'hui 16 partenaires, acteurs de la recherche, du développement, de la gestion, de la formation et de l'enseignement. Son objectif est d'accompagner les forestiers dans la préparation des forêts au changement climatique, en veillant à la diffusion des connaissances, à la fourniture d'outils d'aide à la décision, à l'encadrement des initiatives d'adaptation et à la centralisation de l'information. Parmi ses missions, le réseau s'efforce notamment de créer des lieux d'échange (ateliers, groupes de travail, etc.) et de mobiliser l'expertise pour faciliter la mise à disposition des connaissances et des savoir-faire pour la gestion. Il organise régulièrement des appels à projets pour soutenir des études à finalités pratiques.

Il est animé par l'Institut pour le Développement Forestier (CNPf-IDF). Il bénéficie d'un soutien du ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts, de l'interprofession nationale France Bois Forêt et de l'ensemble de ses partenaires.

Financeurs :



Document rédigé en collaboration avec :

