



LES QUESTIONS - RÉPONSES

Comment faire évoluer le diagnostic sanitaire d'un peuplement en contexte de changement climatique ?



Céline PERRIER, CNPF-IDF
Bernard BOUTTE, MASA/DGAL/DSF

Auteurs : Céline PERRIER, CNPF-IDF
Bernard BOUTTE, MASA/DGAL/DSF

Citation du document : PERRIER C. & BOUTTE B., 2025.
Comment faire évoluer le diagnostic sanitaire d'un peuplement
en contexte de changement climatique ? *Question A₂*.
Les cahiers du réseau AFORCE. Collection de cahiers
« Les Questions-Réponses ». RMT AFORCE. 32 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 : 978-2-38558-103-9
© RMT AFORCE, 2025

LES QUESTIONS - RÉPONSES

**Comment faire évoluer
le diagnostic sanitaire
d'un peuplement en contexte
de changement climatique ?**

Céline PERRIER, CNPF-IDF

Bernard BOUTTE, MASA/DGAL/DSF



PRÉAMBULE

Les dernières publications du GIEC (Groupe d'experts Inter-gouvernemental 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. Impact des perturbations sur les arbres et peuplements	9
2. En quoi consiste le diagnostic sanitaire ?	11
3. Principaux enjeux autour de la mise en œuvre du diagnostic sanitaire en contexte de changement climatique	13
II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS	16
1. Les différentes étapes du diagnostic sanitaire d'un peuplement	17
2. Définition d'une méthode d'échantillonnage	19
3. Outils à disposition pour appuyer la réalisation du diagnostic sanitaire	20
3.1. <i>Observations et analyse à l'échelle d'une unité de gestion</i>	20
3.2. <i>Observations à l'échelle d'une forêt, d'un massif ou d'une région</i>	23
4. Des pronostics à la prise de décision	25
III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE	26
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	28

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 *D₂*, *G*, etc. incluses dans le texte sont des renvois aux autres questions traitées dans les cahiers « Les Questions-Réponses ».

INTRODUCTION

Les arbres sont confrontés à toutes sortes d'agressions au cours de leur vie, générant parfois un déclin voire la mort de certains d'entre eux. En peuplement, cette mortalité peut être naturelle, du fait de la compétition, ou accidentelle. Mais avec les évolutions récentes liées au changement global, on constate qu'elle augmente de façon anormale. La concurrence pour les ressources (eau principalement) s'accentue notamment et les agressions (sécheresses, gel, attaques de bioagresseurs¹...) sont plus fréquentes et plus intenses. Elles touchent aussi des surfaces plus importantes, visibles à l'échelle des paysages.

Dans ce contexte, une vigilance accrue du forestier est donc indispensable pour repérer la survenue de problèmes sanitaires anormaux et anticiper les risques de dégradation. Cette précaution est nécessaire car un problème sanitaire peut entraîner la perte du capital ou, dans le cas de bioagresseurs, la contamination d'autres parcelles. Il n'est pas toujours facilement décelable et il est parfois trop tard pour réagir.

Cette vigilance passe par la mise en œuvre d'un diagnostic sanitaire simplifié en forêt. Il doit permettre d'évaluer l'état sanitaire des arbres et des peuplements. Il constitue également une référence qui, années après années, permettra son suivi dans le temps. Ce diagnostic s'appuie sur l'observation. Il est complémentaire des autres diagnostics forestiers : diagnostic du peuplement et de la station, et diagnostic socio-économique (*cf. A1 et A3*). L'ensemble permet de rassembler des informations indispensables à l'analyse de la situation et à la prise en compte du changement climatique dans la gestion forestière. Les méthodes et outils venant à l'appui de la réalisation de ce diagnostic ont évolué pour tenir compte du changement de contexte global. Ils sont aussi plus faciles d'accès. En complément, et surtout si un problème est détecté, le forestier peut se faire aider par des spécialistes. Ces derniers effectuent une veille systématique à grande échelle. Ils peuvent l'accompagner dans son diagnostic et le conseiller sur les choix de gestion qui en découlent.

¹ Il s'agit d'un organisme qui, pendant une partie ou la totalité de son existence, vit aux dépens d'un ou de plusieurs autres organismes vivants. Il est aussi appelé « parasite ». Il peut être pathogène (qui induit des maladies) ou ravageur (qui cause des dommages) (d'après Saintonge & al., 2023).

RAPPEL DES I. CONNAISSANCES



1. Impact des perturbations sur les arbres et peuplements

Au cours de leur croissance, les arbres et les peuplements forestiers peuvent être soumis à différents types de perturbations liées à des évolutions de leur environnement. Leur origine est naturelle (tempêtes, inondations, sécheresses, gel, pullulation de bioagresseurs autochtones¹...) ou liée à l'influence d'activités humaines (coupes forestières, pollution, incendies, tassement des sols, introduction de bioagresseurs allochtones¹...). Ces perturbations peuvent être soudaines ou intervenir de façon plus progressive. La surface concernée varie elle aussi selon le cas, de très localisée à très étendue ; et ce ne sont parfois que quelques parties de l'arbre qui sont touchées. **Dans tous les cas, elles viennent rompre un équilibre établi à l'échelle de l'arbre ou du peuplement.**

Quand un individu est affecté par une perturbation, il peut y avoir mortalité immédiate. Il peut aussi se retrouver blessé, stressé et affaibli, voire malade, car les perturbations génèrent des dysfonctionnements physiologiques (*cf. Illustration 1*).

Face à l'agression que constitue la perturbation, l'arbre peut développer des symptômes plus ou moins visibles qui peuvent révéler la nature de l'agent en cause. Mais ce n'est pas toujours aussi simple car une même affection peut se traduire par des symptômes différents selon les espèces². Par ailleurs, il peut y avoir une conjonction de perturbations (enchaînement ou superposition) provoquant des réactions multiples. Enfin, certaines perturbations ne génèrent aucun symptôme visible, au moins dans un premier temps.

Dans tous les cas, **un arbre qui baisse de vigueur est fragilisé, sa croissance est impactée**. Si son avenir n'est pas nécessairement remis en question, il convient malgré tout de rester vigilant car cet état peut constituer une porte d'entrée à d'autres perturbations comme des attaques par des parasites de faiblesse³. C'est pourquoi des signaux même faibles méritent d'être observés et analysés.

¹ Qualifie un taxon, une population ou une communauté animale ou végétale reconnu originaire du territoire où il se trouve actuellement. À distinguer des « allochtones » qui sont rencontrés dans des territoires dont ils ne sont pas originaires et y ayant généralement été introduits par l'homme de façon directe ou indirecte (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

² Se référer à Saintonge & al., 2023.

³ Parasite ne pouvant se développer que sur un hôte préalablement affaibli. Est aussi appelé parasite opportuniste ou secondaire (extrait de Saintonge & al., 2023).

Source : Jérôme Rosa © CNPF



Illustration 1 : Arbres stressés et affaiblis, présentant des houppiers clairsemés.

Dans le cas d'une succession de perturbations, **l'enchaînement peut engendrer un processus de dépeçissement⁴** pouvant se généraliser sur de grandes surfaces (*cf. Illustration 2*) et dont la gravité varie en fonction de :

- la nature des perturbations, leur intensité et leur dynamique ;
- l'effet cumulé et complexe des facteurs en cause ;
- le niveau d'atteinte successif des individus composant les peuplements ;
- les caractères propres à chaque individu et à son contexte de croissance : espèce, génétique,

milieu, historique de gestion. Ces critères contribuent à définir la capacité individuelle et globale de résilience⁵ face aux agressions.

Seule une surveillance de l'ensemble de ces processus affectant les arbres et les peuplements peut permettre d'agir pour éviter une dégradation conduisant à une crise sanitaire⁶, plus difficilement gérable.

Source : Sylvain Gaudin © CNPF

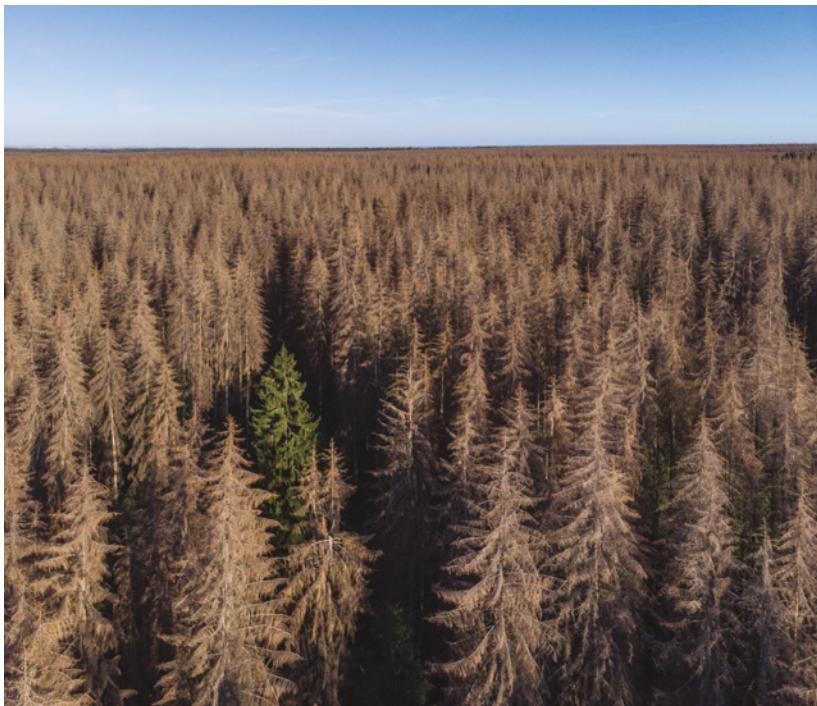


⁴ Processus évolutif complexe faisant intervenir des facteurs de plusieurs types (prédisposants, déclencheurs, aggravants), en partie interchangeables et entraînant une altération durable de l'aspect extérieur et de la croissance des arbres, la mort étant une issue possible mais non certaine du processus (extrait de Saintonge & al., 2023).

⁵ Capacité que possède un écosystème (sol, communautés végétales, peuplement forestier, etc.) à retrouver son état ou ses fonctions d'origine, par différents processus de dynamique progressive, après sa destruction totale ou partielle par un aléa naturel ou une perturbation (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

⁶ Se référer à Brunier, Delport & Gauquelin, 2020.

Source : Sylvain Gaudin © CNPF



*Illustration 2 : Pessière entièrement touchée par une épidémie de scolytes (*Ips typographus*).*

2. En quoi consiste le diagnostic sanitaire ?

Pour le forestier, le diagnostic sanitaire consiste à effectuer **un bilan à un instant t de l'état sanitaire** du peuplement, qu'il y ait ou non des signes apparents de perte de vigueur, de maladie ou de mortalité. **Il doit aujourd'hui s'accompagner d'une appréciation de l'évolution possible de cet état en contexte de changement climatique pour apprécier les risques potentiels.**

Ce bilan constitue un état initial de référence ou un nouvel état permettant la comparaison avec un état précédent pour apprécier les évolutions passées. Il implique, pour permettre cette comparaison, de s'appuyer sur des indicateurs et paramètres descriptifs identiques d'un diagnostic à l'autre.

S'il y a constat d'anomalies inquiétantes, un diagnostic sanitaire plus poussé peut aussi être réalisé sur

demande, par des correspondants-observateurs du Département de la Santé des Forêts (DSF) ou, pour des cas plus graves, par ses personnels permanents (*cf. Encadré 1*). Ces conseils peuvent conduire à des recommandations pour la mise en

place de mesures phytosanitaires⁷ adaptées. **Le diagnostic a ainsi, selon le cas, un rôle préventif ou un rôle d'évaluation d'anomalies permettant dans certaines situations la mise en place de mesures curatives⁸ appropriées à la situation.**

“ N°1

Organisation et rôle du Département de la Santé des Forêts

Le Département de la Santé des Forêts du ministère en charge des forêts (DSF) est organisé pour évaluer en routine les évolutions de l'état de santé des forêts en France métropolitaine et pour réagir rapidement si un problème est détecté. Il dispose pour cela d'experts répartis sur le territoire : au sein de la direction générale et de 6 pôles interrégionaux, et au travers d'un réseau de correspondants-observateurs (CO) formés, issus de l'ONF, du CNPF, des DRAAF et des DDT(M).

En lien fort avec la recherche et avec les CO, le DSF établit :

- une surveillance de fond *via* des relevés en routine et des réseaux de placettes d'observation (réseau RENECOFOR*, réseau systématique de suivi des dommages forestiers, couverture nationale par les CO, inventaires de l'IGN, etc.) ;
- des diagnostics de problèmes sanitaires en forêt sur demande et des conseils adaptés (*cf. Illustration 3*) ;
- des suivis spécifiques de certains bioagresseurs importants ;
- une veille active sur les introductions et les bioagresseurs émergents (biologie, évolution, impacts...) ;
- une communication régulière (bilans, ouvrages...) pour informer et alerter les forestiers ;
- une évaluation et un suivi des phénomènes de déprérissement et de crises.

* Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers.

⁷ Mesures mises en œuvre dans le but de prévenir l'introduction ou la dissémination de bioagresseurs, ou de limiter les conséquences d'un problème d'origine abiotique.

⁸ Mesure visant à traiter les effets directs d'un problème, notamment sanitaire.

Source : Olivier Martineau © CNPFF



Illustration 3 : Accompagnement par un correspondant-observateur du DSF.

3. Principaux enjeux autour de la mise en œuvre du diagnostic sanitaire en contexte de changement climatique

Les évolutions passées et actuelles du climat amènent des perturbations plus intenses et plus fréquentes, susceptibles d'affecter brutalement les arbres. Par ailleurs, le changement plus progressif mais inéluctable des conditions de croissance entraîne déjà un affaiblissement des arbres qui se généralise graduellement. **Ces phénomènes laissent à craindre que les maladies,**

les mortalités et les processus complexes de dépérissements pourraient devenir plus fréquents, plus nombreux et plus étendus dans les prochaines années.

Le changement climatique influe aussi sur **les bioagresseurs qui s'y adaptent plus facilement que les arbres qu'ils affectent** : régulation des cycles de reproduction, dis-

persion, plasticité phénotypique⁹, diversification des espèces hôtes.... (*cf. Illustration 4*). On s'attend par ailleurs à ce que le nombre et la diversité de ces bioagresseurs continue d'augmenter en raison de la mondialisation des échanges commerciaux (notamment le commerce des végétaux d'ornement et l'utilisation du bois, sous forme de palettes, pour le transport des marchandises, qui peut héberger des insectes xylophages¹⁰, bioagresseurs potentiels des forêts européennes) qui implique l'**introduction sur le territoire de nouvelles espèces, avec leur lot de parasites associés** (*cf. Ei*).

Comme évoqué précédemment, lors de l'élaboration d'un diagnostic sanitaire, la recherche des causes ayant pu provoquer la baisse de vigueur, la maladie ou la mortalité peut être difficile à mener (survenue différée, combinaison de causes, etc.).

Illustration 4 : Quelques exemples de bioagresseurs dont le développement est sensible au changement climatique :

(a) Galeries causées par le sténographe du pin (*Ips sexdentatus*).

(b) Procession de chenilles processionnaires du pin (*Thaumetopoea pityocampa*).

(c) Roussissement de l'extrémité des aiguilles de pin laricio de Corse causé par la maladie des bandes rouges (*Dothistroma sp.*).



(a)



(b)



(c)

Source : Anne Geneix © CNPF

Source : Xavier Grenié © CNPF

Source : Jérôme Rosa © CNPF

⁹ Capacité d'un génotype (ensemble des caractères héréditaires propres à un individu et son milieu) à produire différents phénotypes (ensemble des caractères observables – morphologiques, anatomiques, 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).

¹⁰ Qualifie un être vivant (spécialement insecte) se nourrissant de tissus ligneux à un stade de son développement (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

Elle l'est particulièrement en contexte de changement climatique car il n'est pas toujours possible de faire un rapprochement direct avec ses effets (cf. Illustration 5). Malgré tout, elle est importante pour évaluer le niveau de gravité, pour apporter les correctifs adaptés nécessaires et pour organiser le retour d'expérience.

Il existe aujourd'hui un **enjeu fort autour des connaissances qui doivent encore progresser**. L'observation systématique et la mise en place d'un système de surveillance y

contribuent (dynamique, modalités d'attaques, capacité de résistance et de résilience des espèces, etc.).

Dans ce contexte, l'**accompagnement des forestiers** à la compréhension des phénomènes et à la réalisation de diagnostics sanitaires actuels et prospectifs devient un enjeu majeur pour détecter précocelement les anomalies dans les peuplements - voire les anticiper quand cela est possible (identification des vulnérabilités, projection de l'évolution des bioagresseurs...) - et éviter la multiplication des situations de crise.

Source : Joël Perrin © CNPFF



*Illustration 5 : Jeunes sapins pectinés attaqués par la mineuse (*Epinotia subsequana*), un exemple de bioagresseur qui mobilise des travaux scientifiques pour en définir les mécanismes d'évolution en contexte de changement climatique (modification de l'aire de répartition, facteurs prédisposant les attaques...).*

PRINCIPALES II. RECOMMANDATIONS



1. Les différentes étapes du diagnostic sanitaire d'un peuplement

Le diagnostic sanitaire d'un peuplement comprend deux étapes : l'**observation** et l'**analyse de la situation** (cf. Illustration 7).

L'étape d'observation (a) peut être mise en œuvre par le forestier. Elle vise à détecter les signaux sanitaires d'alerte, parfois faibles, par une veille et une vigilance simple et systématique (cf. Illustration 6). Elle peut également être déclenchée à l'issue d'une perturbation susceptible d'avoir provoqué des dommages dans le peuplement ou lorsque des peuplements alentour présentent des problèmes sanitaires ou enfin, dans le cadre d'un suivi régulier. Cette surveillance

peut être menée à plusieurs échelles (cf. §II.2). Les observations consistent à noter la présence d'arbres isolés ou de zones affectés et leur étendue, la nature des problèmes observés (défoliation, blessures, mortalité de branches, coloration anormale du feuillage...) et le degré d'atteinte (proportion de tiges atteintes). Elles pourront être comparées avec des observations antérieures, s'il y en a. Enfin, il est recommandé quand cela est possible de coupler cette démarche à un diagnostic sylvicole complet (cf. A₁ et A₃) : cela facilite la mise en évidence d'une éventuelle perte de vigueur via des mesures de croissance par exemple.



Source : Joël Perrin © CNDF

Illustration 6 : Découverte de la présence de cochenilles (du genre Leucaspis) visibles à l'œil nu, sur les aiguilles d'un individu au sein d'un peuplement de Pin maritime.

¹ Se référer à Rosa, Riou-Nivert & Paillassa, 2011.

Le forestier peut aussi participer à l'**étape d'analyse de la situation** au travers d'une évaluation des facteurs prédisposants (b). Il s'agit de facteurs intrinsèques au peuplement ou à sa gestion qui traduisent une vulnérabilité particulière à certaines agressions biotiques ou abiotiques : essence implantée hors station, tassements du sol, essence sensible à un bioagresseur en particulier, peuplement mature ou vieillissant, retard d'éclaircie, etc.

Dans le cas où il y aurait des dégradations visibles et anormales conséquentes (à l'échelle de l'arbre) ou étendues, le diagnostic devra être complété par des professionnels. Ils se rendront alors sur place pour :

- (c) vérifier les dégradations et rechercher leur cause ;
- (d) mesurer l'étendue du phénomène, apprécier son niveau de gravité et son évolution possible (par rapport aux diagnostics antérieurs).

	Étape 1 - OBSERVATION (a)	Étape 2 - ANALYSE (b, c et d)
Dans tous les cas, avec ou sans dégradations apparentes	<p>a. Évaluation de l'état du peuplement dans son contexte et des dommages éventuels : observation des arbres (de la feuille aux racines) et de l'environnement (sol, exposition, pente...), recueil d'informations sur l'historique (date de plantation, coupes, stress anciens...), description simple et factuelle des dégradations s'il y en a (forme, nombre, répartition dans le peuplement...).</p>	<p>b. Évaluation des facteurs prédisposants : facteurs pouvant amener une sensibilité particulière à des phénomènes déclenchants, biotiques (bioagresseurs connus, émergents, invasifs) ou abiotiques (sécheresse, gel précoce ou tardif, vents forts, incendies...).</p>
En complément, si dégradations visibles et anormales	<p>c. Évaluation de la cause supposée (aidé d'un expert) : analyse de la nature des dégradations observées, échantillonnage, enquête rétrospective, repérage des facteurs potentiellement responsables de l'apparition des dégradations (événements climatiques, interventions de gestion, attaques de bioagresseurs...).</p>	<p>d. Évaluation de la dynamique du phénomène et de son évolution possible (aidé d'un expert) : comparaison avec de précédents diagnostics, suivi des récoltes pour cause de dépérissement, mécanismes de réaction des arbres au stress subi (potentiel de résilience), évaluation des possibilités d'aggravation.</p>

Illustration 7 : Les étapes de la réalisation d'un diagnostic sanitaire de peuplement (en jaune, phase d'observation ; en bleu, phase d'analyse).

Le diagnostic sanitaire, complété par le bilan des autres diagnostics, doit ainsi aboutir si possible à un (ou des) pronostic(s) de l'évolution du peuplement sous changement climatique et, si nécessaire, à la mise en place de mesures de gestion appropriées. Ces mesures pourront, selon les cas, viser à : anticiper

des détériorations (affaiblissement de peuplements en limite d'aire de répartition par exemple), traiter un phénomène ou prévenir son aggravation (accélération, expansion). Les experts viennent en appui à la mise en place de ces mesures spécifiques et déclenchent si besoin la procédure associée à un cas de crise.

2. Définition d'une méthode d'échantillonnage

Pour installer des placettes d'observation au sein d'une zone géographique donnée, il est généralement recommandé - à moins de bien connaître le terrain - de **constituer un maillage systématique carré dans lequel des placettes sont positionnées à chaque point de croisement de la maille** (*cf. Illustration 8*). Le choix de la dimension de cette maille (plus ou moins serrée) dépend de la surface de la zone à inventorier, du niveau de précision souhaité, de l'hétérogénéité du terrain (espèces, topographie, densités...), du caractère ponctuel ou pérenne de l'opération (pour un suivi dans le temps, avec numérotation des arbres) et des moyens disponibles pour mener le travail. Le plus souvent, on recommande de réaliser une trentaine de points d'inventaire pour une même unité d'échantillonnage².

Au sein des parcelles définies, il existe aussi plusieurs méthodes d'inventaire : placette en spirale, en « U », grappes d'arbres... (effectif pouvant aller de 20 à 100 arbres selon le cas). Le choix est là aussi guidé en fonction des moyens disponibles pour réaliser les notations nécessaires (l'observation sur terrain facile d'accès d'une dizaine de placettes de 20 arbres nécessite par exemple la mobilisation de 2 observateurs sur une journée³).

Pour réaliser un état des lieux à l'échelle d'un massif, il est possible de réaliser un échantillonnage « depuis la route » (tout en pénétrant dans les peuplements pour éviter des effets de lisière), aussi appelé **road-sampling**³. Les parcelles sont définies au préalable aléatoirement, mais de façon systématique (tous les x km), de manière à couvrir l'ensemble du

² Se référer à Brunier, Delport & Gauquelin, 2020 (Annexe 1).

³ Se référer à Baubet, 2021.

massif tout en suivant les circuits des routes carrossables. Si la zone à couvrir présente du relief, il est recommandé de réaliser des transects depuis le point de plus basse altitude au point le plus haut.

Cette méthode a pour avantage de couvrir de grandes surfaces et une diversité de situations dans un temps raisonnable et avec une représentativité très acceptable.

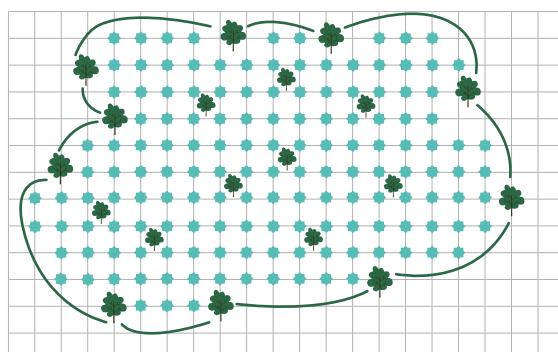


Illustration 8 : Représentation d'un maillage systématique utilisable pour un échantillonnage de placettes (méthode « statique », à distinguer du road-sampling) au sein d'une même unité, correspondant à un massif forestier (d'après Brunier, Delpot & Gauquelin, 2020). Les 147 points bleus correspondent aux points d'observation (placettes) et sont équivalents au travail de deux équipes sur 8 jours.

3. Outils à disposition pour appuyer la réalisation du diagnostic sanitaire

L'évaluation de l'état sanitaire peut être approchée à différentes échelles : unité de gestion (peuplement), forêt (ensemble de peuplements), massif, région, etc. Les outils à disposition pour aider à cette évaluation diffèrent selon ces échelles (*cf. A3*).

3.1. Observations et analyse à l'échelle d'une unité de gestion

À ce jour, **les outils à disposition sont essentiellement des protocoles pour caractériser le dépérissement forestier et aider à la notation des symptômes associés⁴** : mortalité de branches (DSF, IGN), Deperis (DSF), déficit foliaire (UE⁵, DSF), Archi (CNPF) (*cf. Illustrations 9 et 10*). Ils sont essentiellement utilisés par des professionnels formés à leur utilisation.

⁴ Les mots en italique renvoient à des plateformes, guides ou outils. Les liens vers ces éléments, ou vers des articles en faisant la présentation, sont consultables dans les références bibliographiques de ce cahier.

⁵ Union Européenne

Nom du Protocole	Description
DEPERIS	<ul style="list-style-type: none"> ■ S'appuie sur l'observation de la mortalité de branches et du manque de ramification (feuillus) ou d'aiguilles (conifères) dans le houppier notable (i.e. ayant accès à la lumière) des arbres dominants ou co-dominants (hors situation de concurrence). ■ Permet de quantifier un taux d'affectation de l'arbre à un moment donné. ■ Fournit une appréciation de l'avenir de l'arbre selon la proportion de houppier affecté (sain, préoccupant, avenir incertain). ■ La méthode s'applique à toutes les espèces (feuillus et résineux) et à toute saison. ■ La méthode est dédiée à des situations de dépérissement (au sens strict), mais son usage peut s'étendre à tout problème qui affecte la vitalité des arbres.
ARCHI	<ul style="list-style-type: none"> ■ S'appuie sur l'observation de l'architecture des arbres dominants (port et agencement de la ramification). ■ A pour particularité de s'intéresser aux gourmands (=suppléants) qui sont particulièrement sensibles aux variations de l'environnement. ■ Fournit une caractérisation des dégâts et permet d'identifier la position de l'arbre dans une dynamique de dépérissement (stade d'évolution et caractère réversible ou irréversible du dépérissement). ■ Le diagnostic s'établit grâce à une clé de détermination (par espèce ou groupe d'espèces). ■ La méthode n'est pas encore disponible pour toutes les espèces.

Illustration 9 : Description de deux protocoles simples de notation des symptômes de dépérissement en peuplement forestier.

Ces différents protocoles aident à caractériser un état de dégradation des arbres mais ne renseignent pas sur sa cause potentielle. Soulignons par ailleurs, que les taux d'affectation identifiés avec ces méthodes peuvent être comparés entre arbres et d'une année à l'autre (si un même protocole a été utilisé). Cela peut permettre de faire apparaître des évolutions et le fait que certains arbres sont affectés de la même manière ; rappelons que,

pour autant, **leur capacité de résilience reste propre à chacun.**

Le forestier peut aussi, dans sa démarche d'observation et d'évaluation des facteurs prédisposants, se référer à quelques outils, publications et ouvrages de référence accessibles à tous (*cf. Illustration 11*), sous certaines conditions (de formation notamment). Ils ne constituent pas en soi des outils dédiés au diagnostic sanitaire mais ils y contribuent.



Illustration 10 : Utilisation des jumelles pour l'observation des houppiers nécessaire à l'utilisation du protocole ARCHI.

		Contenus et fonctions spécifiques faisant appui au diagnostic
Outils pratiques	Plateforme ClimEssences	Fiches par espèces contenant des indicateurs de vulnérabilité aux risques biotiques et abiotiques. Cartes permettant d'apprécier l'évolution de la compatibilité climatique des essences dans l'espace et dans le temps.
	Application Bioclimsol	L'outil accompagne la réalisation d'un diagnostic de peuplement. Il tient compte du risque de déprérissement de l'essence pour un peuplement sur pied ou à renouveler.
	Simulateur BILJOU©	Propose des simulations du bilan hydrique journalier de peuplements forestiers pour différents scénarios sylvicoles et climatiques et permet la consultation de cartes de sécheresse des sols pour les forêts de France métropolitaine.
Documentation	Les publications du DSF	Les lettres bisannuelles du DSF contiennent diverses informations techniques et scientifiques sur les problèmes phytosanitaires forestiers nationaux ou internationaux. Elles sont complétées par des bilans interrégionaux ou régionaux de l'état de santé des forêts françaises qui mettent en avant les problèmes sanitaires les plus importants.
	La santé des forêts <i>Diagnostic, prévention et gestion</i>	Recensement et description des principaux agents et causes de dommages sanitaires par espèces.
	Guide de l'expérimentation forestière	Recommandations pour la notation de problèmes phytosanitaires (principe de notation, codification, quantification, période de notation).
	Guide de gestion des crises sanitaires en forêt	Critères d'aide à la décision d'entrée en crise sanitaire. Protocole de notation pour l'évaluation ou le suivi d'un déprérissement.

Illustration 11 : Outils et documentation de référence accessibles au forestier pour aider à l'observation des problèmes sanitaires et à l'évaluation des facteurs prédisposants (les liens vers les éléments cités sont répertoriés dans les références bibliographiques).

3.2. Observations à l'échelle d'une forêt, d'un massif ou d'une région

Le diagnostic sanitaire doit, pour être complet, intégrer un changement d'échelle avec l'observation des peuplements alentours. Cela permet de considérer leur état sanitaire mais également la présence de certaines caractéristiques pouvant présager d'un effet protecteur contre des aléas abiotiques ou biotiques (apparition ou expansion d'éventuels bioagresseurs) : diversité des espèces et des structures (les peuplements les plus hauts peuvent protéger des peuplements moins hauts des effets de la tempête par exemple), existence de lisières diversifiées, variations de topographie (influence de l'altitude ou de l'exposition par exemple sur les effets climatiques tels que le gel et la sécheresse) (*cf. Illustration 12*). Cette démarche peut ainsi compléter l'appréciation de la vulnérabilité

d'un peuplement mais aussi l'amplitude d'un phénomène dans le cas de symptômes ou dommages apparents. Le protocole *DEPERIS* peut être utilisé à cette échelle pour des notations de dégâts, en suivant un plan d'échantillonnage à adapter à chaque contexte.

Pour une observation à plus vaste échelle encore (peuplement/massif, paysage et sa mosaïque de peuplements), la télédétection présente un potentiel intéressant pour détecter et quantifier des anomalies : séries d'images aériennes et/ou satellites (*cf. Encadré 2*). L'interprétation et le traitement de ces images nécessitent cependant une expertise qui reste encore dans le champ de la Recherche ou de la Recherche & Développement (détexion, comparaison de différentes échelles de temps, calcul d'indices liés à la vitalité et à l'humidité de la végétation forestière...)⁶.

Source : Sylvain Gaudin © CNPF



Illustration 12 : Arrêt de la progression du scolyte localement en bordure du peuplement résineux.

⁶ Se référer à Brunier, Delport & Gauquelin, 2020 (Annexe 2), à Chartier & Paillasse, 2019 et à Cheret & al., 2019.

“ N°2

Utilisation de la télédétection pour détecter et cartographier des problèmes phytosanitaires

À ce jour, les utilisations les plus opérationnelles de la télédétection sont celles qui portent sur le constat de présence d'un problème phytosanitaire à l'échelle de peuplements ou massifs (cartographie de dégâts de scolytes par exemple - cf. *Illustration 13*) et sur sa quantification, et ce majoritairement pour des phénomènes étendus et soudains (manifestations marquées sur les images). Seuls les symptômes visibles sur les parties aériennes des arbres sont observables. Dans tous les cas, le recours à la télédétection doit être complété pour validations, compléments et calibrations par des données de terrain, notamment parce que les causes d'erreurs d'interprétation sont nombreuses (changement de la végétation lié à une opération sylvicole par exemple). Ce complément est aussi indispensable pour rechercher les causes du problème sanitaire.

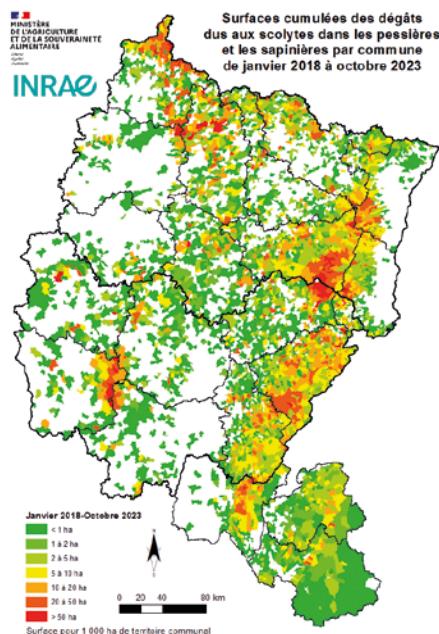


Illustration 13 : Surfaces cumulées des dégâts dus aux scolytes dans les pessières et les sapinières par commune de la région Grand Est, de janvier 2018 à octobre 2023 (cette carte a été élaborée avec le package FORDEAD développé par le CES Changement et santé des forêts tempérées pour la détection d'anomalies de végétation à partir de séries temporelles SENTINEL-2).

4. Des pronostics à la prise de décision

En l'absence de problèmes sanitaires déclarés, il peut être intéressant quand cela est possible, de chercher à réduire les vulnérabilités au travers de mesures sylvicoles adaptées (*cf. C₂*).

En présence de problèmes sanitaires, les experts peuvent recommander des décisions de gestion pour limiter l'aggravation, minimiser les pertes et veiller à ce que la forêt continue à remplir ses principales fonctions. Sont distinguées les interventions à court terme et celles à plus long terme. Les conseils seront adaptés en fonction de la situation sanitaire, mais également en fonction des espèces, les arbres ayant des modes de réponse très variés. Une évaluation prospective pourra être réalisée pour différents scénarios d'évolution du peuplement mais sa portée sera limitée compte tenu du caractère très imprévisible de ces évolutions (*cf. C₁*). Parmi les actions possibles, on distingue :

- le **statu-quo** accompagné de la mise en place d'une surveillance a minima (être en alerte, attentif aux signes) ;

- la mise en place de **mesures préventives** : vigilance soutenue (avec diagnostic annuel), changement d'essence(s), migration assistée⁷, mesures pour favoriser les mélanges, plantation de qualité, exploitation soignée... (*cf. C₂*) ;

- la mise en place de **mesures curatives** : récolte anticipée, coupe sanitaire, interventions phytosanitaires privilégiant la lutte biologique et les produits de bio-contrôle, déclenchement d'une procédure de crise (si mortalités spectaculaires).

La mise en place de ces mesures vise un retour à un nouvel équilibre (quand c'est possible) en minimisant les risques et en tenant compte de la sensibilité accrue de l'écosystème.

⁷ Intervention de l'homme pour accélérer la vitesse de migration d'un arbre. L'arbre est déplacé artificiellement vers un environnement auquel il est adapté.

III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE



1. Toujours commencer son diagnostic sanitaire par une observation détaillée sur le terrain.
2. Rester vigilant quant aux échelles et aux limites d'utilisation et d'interprétation des outils et protocoles utilisés.
3. Ne pas négliger de se référer aux diagnostics passés qui peuvent fournir un état de référence.
4. La phase d'analyse du diagnostic sanitaire peut faire appel à une expertise particulière. Il est recommandé de s'entourer de professionnels pour sa mise en œuvre, en particulier lorsque des dommages ont été constatés.
5. Aux étapes d'analyse et de propositions de gestion, toujours veiller à tenir compte des différents scénarios d'évolution possibles du climat et des à-coups potentiels (*cf. C₁*).
6. Le choix des mesures à mettre en place à l'issue du diagnostic nécessite d'être aussi raisonné en tenant compte de la nature du projet du propriétaire et des moyens disponibles (*cf. A₁*).
7. Ne pas se précipiter pour récolter trop vite dans le cas d'un dépréssissement, une réaction trop rapide ou disproportionnée peut avoir pour effet d'amplifier le phénomène.
8. Ne pas conclure trop vite à une issue fatale. Les arbres ont des capacités de résilience insoupçonnées et quelquefois surprenantes.
9. Dans le cas d'une récolte anticipée pour cause sanitaire, ajuster le mode d'exploitation (protection des sols) et de renouvellement (*cf. D₁, D₂ et D₃*).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES POUR ALLER À L'ESSENTIEL

- Barthélémy D., Caraglio Y. & Sabatier S., 2018. Architecture des arbres : une clé pour comprendre le fonctionnement des forêts ? In « La forêt et le bois en 100 questions ». Académie d'Agriculture de France. pp. 2.08.1-2.08.4.
- Birot Y. & Landmann G., 2017. Le suivi des écosystèmes forestiers : pourquoi et comment ? In « La forêt et le bois en 100 questions ». Académie d'Agriculture de France. pp. 2.09.1-2.09.4.
- Birot Y., 2016. La sécheresse : quels risques pour les forêts ? In « La forêt et le bois en 100 questions ». Académie d'Agriculture de France. pp. 5.03.1-5.03.4.
- Delport F., 2018. Stratégie et organisation du département de la Santé des forêts pour la surveillance des bioagresseurs émergents en forêt. Revue Forestière Française, n° LXX 6-2018. pp. 269-273.
- Desprez-Loustau M.-L., 2020. Qu'est-ce qu'une forêt en bonne santé ? In « La forêt et le bois en 100 questions ». Académie d'Agriculture de France. pp. 2.10.1-2.10.4.
- Nageleisen L.-M. & Goudet M., 2019. Les dépréisements en forêt. In Dossier « Dépréisements : la boîte à outils du forestier s'enrichit ». Forêt Entreprise, n° 246. pp. 16-21.
- ONERC, 2014. L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change. La Documentation française. Coordination par le RMT AFORCE. 184 pages.
- Rosa J., Nageleisen L.-M. & Sajdak G., 2019. Dépérir, Archi : deux outils complémentaires pour objectiver un dépréissement. In Dossier « Dépréisements : la boîte à outils du forestier s'enrichit ». Forêt Entreprise, n° 246. pp. 22-24.
- 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. 2ème édition. 639 pages.
- Saintonge, F. & Boutte, B., 2020. Comment agir dans un contexte d'incertitude lié aux effets possibles du changement climatique sur l'état de la santé de la forêt ? Sciences Eaux & Territoires, n° 33. pp. 12-17.

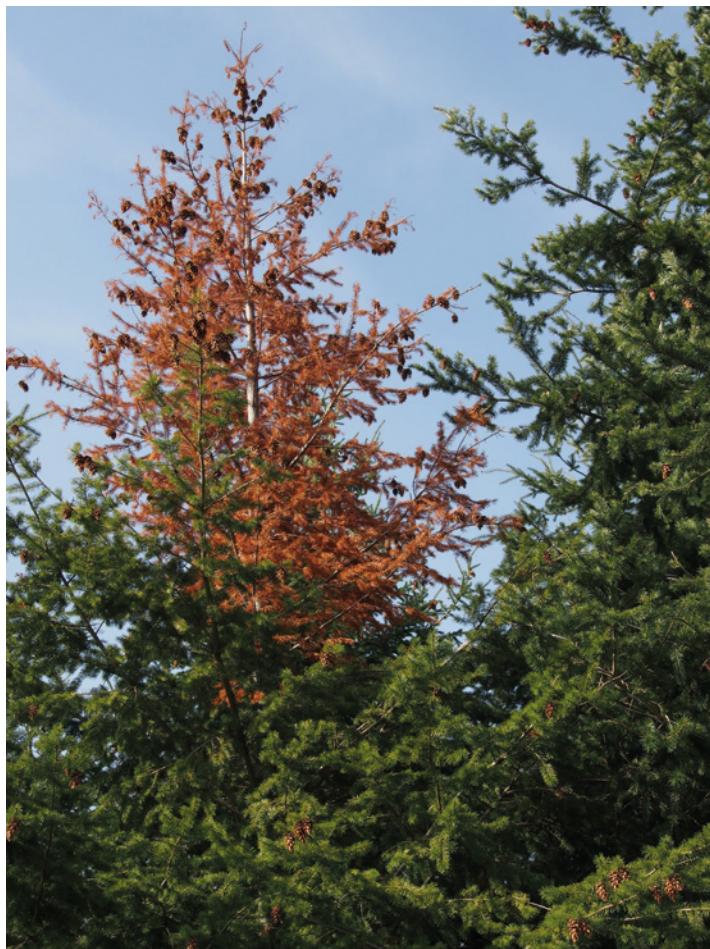
RÉFÉRENCES PRATIQUES

(plateformes, guides et outils cités)

- Brunier L., Delport F. & Gauquelin X. (Coord.), 2020. Guide de gestion des crises sanitaires en forêt. RMT AFORCE. 184 pages.
- Drénou Ch., 2023. Évaluer la vitalité des arbres. Guide d'utilisation de la méthode ARCHI. Éditions CNPF-IDF, 64 pages.
- Goudet M. & Nageleisen L.-M., 2019. Protocole Dépériss. Méthode de notation simplifiée de l'aspect du houppier des arbres forestiers dans un contexte de déprérissement. *In Dossier « Déprérissements : la boîte à outils du forestier s'enrichit »*. Forêt Entreprise, n° 246. pp. 36-40.
- INRAE, 2023. Biljou, modèle de bilan hydrique forestier. Disponible sur : <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr/> (Consulté le 20 juin 2023).
- Lemaire J. & Cano B., 2022. Bioclimsol, outil collaboratif pour agir face aux dérèglements climatiques. Dossier. Forêt Entreprise n° 264. pp. 10-56.
- MASA, 2020. Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. « La santé des forêts dans votre région ». Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/la-sante-des-forets-dans-votre-region> (Consulté le 6 mai 2024).
- MASA, 2024. Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. « Bilans annuels en santé des forêts ». Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/bilans-annuels-en-sante-des-forets> (Consulté le 6 mai 2024).
- RMT AFORCE, 2021. ClimEssences. Disponible sur : <https://climessences.fr> (Consulté le 16 juin 2021).
- Rosa J. (coord.), Riou-Nivert Ph. & Paillassa É., 2011. Guide de l'expérimentation forestière. Principe de base - Prise en compte du changement climatique. Chapitre 2 « Variables spécifiques liées au changement climatique ». RMT AFORCE. pp. 97-101.
- Sajdak G., 2019. La méthode ARCHI. Un diagnostic architectural des houppiers pour apprécier l'état physiologique des arbres. *In Dossier « Déprérissements : la boîte à outils du forestier s'enrichit »*. Forêt Entreprise, n° 246. pp. 25-27.
- Theia, 2020. Fordead, un package python pour la détection d'anomalies de végétation à partir d'images SENTINEL-2. Disponible sur : <https://www.theia-land.fr/product/fordead/> (Consulté le 16 mai 2024).

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.
- Baubet O., 2021. Résultats de l'enquête road-sampling sapin pectiné lancée sur la région Auvergne-Rhône-Alpes en 2021. Un indicateur régional de l'état de santé de la sapinière. DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes. 26 pages.
- Chartier M. & Paillassa É. (coord.), 2019. La Télédétection au service de la forêt. Dossier. Forêt Entreprise, n° 249. pp. 14-53.
- Chéret V., Goulard M., Hamrouni Y. & Chartier M., 2019. Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection, le châtaignier en Dordogne. In *Dossier « La télédétection au service de la gestion forestière »*. Forêt Entreprise, n° 247. pp. 46-50.
- Etzold S., Wunder J., Braun S., Rohner B., Bigler C., Abegg M. & Rigling A., 2016. Mortalité des arbres forestiers : causes et tendances. In « Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation ». pp. 183-202.
- Goudet M., Saintonge F.-X. & Nageleisen L.-M., 2018. Quantifier l'état de santé des forêts, méthode simplifiée d'évaluation. Département de la Santé des Forêts. 6 pages.
- Landmann G., 1988. Comment apprécier la vitalité d'un arbre ou d'un peuplement forestier ? Revue Forestière Française, n° XL 4-1988. pp. 265-283.
- Landmann G., 1994. Concepts, définitions et caractéristiques générales des déprésissements forestiers. Revue Forestière Française, n° 46 (5). pp. 405-415.



Rouissement de la cime d'un Douglas après un épisode de sécheresse.

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 (*EPELFPAs des Vosges*), Damien François (*Forêt d'ici*), Jean Ladier (*ONF*), Guy Landmann (*GIP ECOFOR*), François Lebourggeois (*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*), Ceydrick 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.

Ce cahier a bénéficié des résultats et conclusions d'un groupe de travail multi-acteurs sur le « Diagnostic des stations et choix des essences » animé par le réseau AFORCE entre 2012 et 2013, pour lequel nous tenons à exprimer notre reconnaissance.

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 : Thierry Belouard (*MASA/DGAL/DSF*), Véronique Cheret (*INRAE*), Dominique De Villebonne (*ONF*), Christophe Drénou (*CNPF-IDF*), François-Xavier Saintonge (*MASA/DGAL/DSF*).

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 ?

Raisonner 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 :

