

GUIDE DE GESTION DES CRISES SANITAIRES EN FORÊT

2^e édition

Ouvrage collectif coordonné par :
Louise Brunier, Frédéric Delpont, Xavier Gauquelin



Crédits photographiques de la couverture :

Bandeaux gauche de vignettes, de haut en bas :

1. Patrick Léchine © CNPF
2. Jérôme Rosa © CNPF
3. © DSF
4. Florent Gallois © CNPF
5. Florent Gallois © CNPF
6. Alain Csakvary © CNPF

Grande photo :

Louise Brunier © CNPF

Production du Réseau mixte technologique AFORCE

Citation du document :

BRUNIER L., DELPORT F. & GAUQUELIN X. (Coord.), 2020.
Guide de gestion des crises sanitaires en forêt. RMT AFORCE.
184 pages.

© RMT AFORCE, 2020

www.reseau-aforce.fr

Dépot légal : novembre 2020

Edité par CNPF-IDF

47 rue de Chaillot, 75116 Paris

idf-librairie@cnpf.fr

www.foretpriveefrancaise.com

Maquette : Sodesign - creation@sodesign.fr

Imprimeur : Groupe Koryo - koryo.fr - +33 (0)1 80 80 12 12

Imprimé sur papier certifié PEFC



PEFC 10-31-1904

GUIDE DE GESTION DES CRISES SANITAIRES EN FORÊT

Coordination : Louise Brunier¹, Frédéric Delport², Xavier Gauquelin³

¹ Centre national de la propriété forestière - ² Département de la santé des forêts - ³ Office national des forêts

Ce guide est la réédition, actualisée et enrichie,
du GUIDE DE GESTION DES FORÊTS EN CRISE SANITAIRE
Office National des Forêts, Institut pour le Développement Forestier, 2010.



Présentation de l'ouvrage

Le *Guide de gestion des crises sanitaires en forêt*
est la 2^e édition, revue et complétée,
du *Guide de gestion des forêts en crise sanitaire* (ONF, IDF, 2010).

Comme pour la première édition, il est constitué de 3 parties :

- **Chapitres** : ils détaillent la méthode
de gestion de crise sous ses différents aspects.

- **Fiches de cas** : douze exemples concrets sont présentés,
avec la démarche qui a été suivie de l'entrée en crise à sa sortie
et le bilan qui en est tiré.
Six d'entre eux étaient déjà traités dans la première édition
et sont mis à jour ici, avec un bilan 10 ans après.
Les fiches correspondantes portent alors le pictogramme .
La plupart des fiches ont été rédigées
par les acteurs de la crise eux-mêmes.
Leur contact est indiqué au début pour les lecteurs
qui souhaiteraient obtenir davantage de précisions.

- **Annexes**, notamment sur les protocoles
de notation et la télédétection.

Préface

La multiplication des phénomènes de dépérissement forestier en lien avec le changement climatique ou l'introduction de pathogènes bouscule les acteurs forestiers. Davantage habitués à des prises de décision dans un environnement relativement stable et prévisible, propriétaires et gestionnaires subissent désormais une « dislocation des cadres et repères ». Ces évolutions les font entrer dans une nouvelle ère, celle de la gestion forestière en contexte d'incertitude non réductible.

Face à cela, trois axes de travail sont à privilégier :

- Améliorer la résilience des forêts par la diversification des essences et des modes de gestion d'une part, et par la mise en œuvre d'une gestion adaptative d'autre part. Cet aspect fait l'objet de nombreuses recherches et il est au cœur de la feuille de route pour l'adaptation des forêts françaises au changement climatique.*
- Développer les processus de concertation dans les territoires afin d'identifier collectivement les meilleures réponses en période de crise et construire les chemins d'adaptation pour une meilleure résilience des forêts. Ces deux premiers points ne sont pas l'objet de ce guide.*
- Acquérir une culture du risque en forêt et se préparer à gérer des crises successives. « Apprendre des crises passées pour se préparer à gérer les crises à venir » ; tel est en substance l'objectif de ce guide de gestion des crises sanitaires en forêt.*

En balayant 20 ans de crises sanitaires dans la forêt française, complétées par le cas du Nématode du Pin au Portugal et du dépérissement du Hêtre en Belgique, ce guide recense les principaux retours d'expérience sur le sujet. Grâce à une analyse parallèle très bien documentée, il permet d'en ressortir les enjeux communs, les aspects génériques et les constantes.

Après avoir rappelé l'importance de la surveillance des forêts par le réseau du Département de la santé des forêts (DSF), ce guide présente également des aspects très opérationnels comme la création d'une cellule de crise au niveau régional ou la nécessaire communication vers le grand public.

Ainsi, même si aucune crise ne ressemble à une autre, ce guide met à disposition des forestiers des outils qui les aident à mieux se préparer aux perturbations à venir. Il leur permet d'aborder ces périodes particulières plus sereinement en disposant d'une « méthodologie de l'action » qui a fait souvent défaut dans le passé. Pour une meilleure efficacité de la filière lors des crises à venir, il est donc important que l'ensemble des acteurs forestiers s'approprient rapidement les principaux enseignements de ce document.

Philippe GOURMAIN

Président des Experts Forestiers de France

Sommaire

GUIDE DE GESTION

CHAPITRE

① Un guide de gestion
des crises sanitaires en forêt :
pour quoi faire ?
pour qui ?
P.7

② La surveillance sanitaire
des forêts :
un préalable indispensable
P.17

③ Quels partenariats établir ?
P.23

④ Critères d'aide à la décision
d'entrée en crise sanitaire
P.26

⑤ Comment assurer le suivi
des phénomènes observés ?
P.31

⑥ Actions opérationnelles
en situation de crise sanitaire
P.33

⑦ La communication
P.45

⑧ La sortie de crise sanitaire
P.47

FICHES DE CAS

FICHE

- 1 Le dépérissement du Chêne en forêt de Vierzon
P.51 
- 2 Le dépérissement en forêt domaniale de la Harth et création d'un observatoire
P.61 
- 3 Le dépérissement des Chênes en plaine de la Woèvre et sur le Plateau Lorrain
P.69
- 4 La « maladie du Hêtre » en Ardenne belge
P.76 
- 5 Le dépérissement de Chêne et de Hêtre en forêts de Compiègne, Laigue et Chantilly
P.85
- 6 La chalarose du Frêne en France, exemple du Nord et du Pas-de-Calais
P.93
- 7 Le Puceron lanigère sur Peuplier (*Phloeomyzus passerinii*)
P.101 
- 8 Le dépérissement des résineux dans le Tarn et l'Aveyron, suite à la sécheresse et canicule de 2003
P.108 
- 9 Le dépérissement du Sapin pectiné dans les Alpes du Sud
P.116
- 10 La maladie des bandes rouges sur Pin laricio
P.124
- 11 Les Scolytes de l'Épicéa en forêt privée de Franche Comté
P.132 
- 12 Le Nématode du Pin au Portugal
P.140

ANNEXES

ANNEXE

- 1 Protocoles de notation pour l'évaluation ou le suivi d'un dépérissement
P.149
- 2 Télédétection : outils et perspectives
P.159
- 3 Retour d'expérience de crise sanitaire
P.175
- 4 Proposition bibliographique et références citées
P.176



GUIDE DE GESTION

① Un guide de gestion
des crises sanitaires en forêt :
pour quoi faire ?
pour qui ?
P.7

② La surveillance sanitaire
des forêts :
un préalable indispensable
P.17

③ Quels partenariats établir ?
P.23

④ Critères d'aide à la décision
d'entrée en crise sanitaire
P.26

⑤ Comment assurer le suivi
des phénomènes observés ?
P.31

⑥ Actions opérationnelles
en situation de crise sanitaire
P.33

⑦ La communication
P.45

⑧ La sortie de crise sanitaire
P.47

CHAPITRE I

Un guide de gestion des crises sanitaires en forêt¹ :

Pour quoi faire ?

Pour qui ?

Ce guide traite principalement :

- des crises forestières à caractère sanitaire, s'inscrivant dans la durée ;
- de la gestion opérationnelle et organisationnelle à mener lors de ces crises ;
- de recommandations génériques adaptées.

Il ne traite donc pas des crises issues d'évènements brusques (tempêtes, incendies, avalanches...).

Il ne traite pas non plus :

- de la prévention à mener hors crise, laquelle fait partie de la gestion courante, documentée par les guides de sylviculture ;
- de la reconstitution des peuplements forestiers, qui est un sujet en soi, en particulier en contexte de climat changeant.

Il s'adresse aux professionnels de la gestion forestière : décideurs, experts, propriétaires avertis, gestionnaires de terrain, techniciens chargés d'animation et de développement, services de l'État et de collectivités.

1. Le vocable de crise sylvo-sanitaire est parfois employé.

La notion de crise sanitaire et de ses liens avec la sylviculture, n'est pas une préoccupation récente née du contexte des changements globaux (Barthod, 1994, 1996). Périodiquement, la santé des forêts est au cœur des préoccupations de leurs gestionnaires, aussi bien en France que plus largement en forêt tempérée. Des méga-perturbations sont déjà induites par des sécheresses exceptionnelles qui poussent certaines de ces forêts au-delà de leurs capacités de résistance. Ces sécheresses, coïncidant souvent avec des épisodes caniculaires, affaiblissent la résistance des arbres aux agressions d'insectes et d'agents pathogènes. Elles augmentent également la probabilité de « méga incendies » (Millar et Stephensen, 2015). Ces phénomènes, pour l'instant essentiellement estivaux, pourraient temporairement transformer ces écosystèmes en sources et non plus en puits de CO₂. Plus largement, les scientifiques s'inquiètent des conséquences de la dégradation de la santé des forêts par les changements de régime de perturbations sur les services qu'elles rendent (Anderegg *et al.*, 2013) et leurs capacités d'adaptation (Trumbore *et al.*, 2015).

Une gestion durable et responsable doit disposer de stratégies d'adaptation, qui peuvent être considérées comme une composante de la gestion des risques dans les plans de gestion de la forêt (Spittelhouse et Stewart, 2004). On trouve parmi ces stratégies la réduction de la vulnérabilité des forêts face aux aléas climatiques, l'intensification de la surveillance de leur état de santé, la révision des attentes en matière d'utilisation des forêts et du bois, l'identification des besoins au niveau de la recherche et de



© M. Mirabel, DSF

▲ Dépérissement et mortalité massive de Hêtres en Franche-Comté suite à la sécheresse de 2018.

l'éducation, l'élaboration de politiques forestières pour accompagner et anticiper l'adaptation (Spittelhouse, 2004).

L'accélération de l'évolution du climat moyen, les événements climatiques d'intensité extrême ou d'occurrence hors saisons (tempête, vague de chaleur, gel précoce ou tardif, sécheresse, excès d'eau), les changements anthropiques d'aménagement du territoire, de conduite des peuplements, de pollution, la mondialisation des échanges et l'introduction de nouveaux ravageurs ou maladies sont autant de facteurs pouvant contribuer, directement ou indirectement, seuls ou en interaction, à l'explosion de cas de dysfonctionnements brutaux ou chroniques. Anticiper comment gérer ces phénomènes, capitaliser sur les expériences passées, développer la culture du risque est de la responsabilité collective des forestiers et de la filière bois qui dépend des ressources produites par la forêt.

Qu'est-ce qu'une crise sanitaire en forêt ?

Des dysfonctionnements apparaissent suite à la conjonction entre aléas, qu'ils

soient climatiques ou biotiques², brusques (chocs) ou continus (pressions), et vulnérabilité d'une ou plusieurs essences, de certaines forêts ou peuplements, dans des stations particulières (Figure 1). La crise correspond à un risque qui s'est concrétisé et révèle la vulnérabilité des peuplements. Elle peut être réalimentée par de nouveaux aléas (on parle alors de phénomènes multirisques). L'avenir des peuplements est alors incertain, voire compromis ou, au contraire, capable de récupération après ces perturbations (résilience) (Dale *et al.*, 2000). Lorsqu'il y a dysfonctionnement avéré et exceptionnel, c'est-à-dire dépassant un seuil critique correspondant par exemple à la mortalité habituellement observée dans le type de forêt concernée, on parle de crise sanitaire. Le franchissement de seuils critiques peut concerner différentes dimensions : la gravité, la probabilité, la vitesse, le niveau d'ignorance, la complexité de la situation. Ceci entraîne dans les forêts gérées d'une part la désorganisation de la gestion et de ses coupes réglées, de la filière et du marché du bois, et d'autre part provoque une réaction sociale parfois forte où la communication avec les usagers de la forêt revêt toute son importance. Tout le socio-écosystème est donc concerné.

Une crise sanitaire avérée peut se définir comme une perturbation forte impactant des enjeux de nature économique, écologique ou sociale : l'état de la santé d'une population d'arbres conjugue à une déstabilisation des peuplements, une désorganisation des gestionnaires et des exploitants, des décideurs et des acteurs chargés de la valorisation et de la

commercialisation en forêt. Cette notion recouvre, en fait, trois aspects : l'urgence des mesures à prendre, le caractère inédit des aléas sous-jacents et l'incertitude. Les crises combinent plus ou moins ces trois critères. Mais, elles se caractérisent toutes par l'émotion, la forte sensibilité potentielle de l'opinion publique et des décideurs publics (Lagadec, 2010), à laquelle le gestionnaire forestier doit apporter des éléments d'explication, de quantification, de diagnostic, de justification, et de communication tout au long de la crise.

L'incertitude en situation de crise sanitaire recouvre à la fois l'inconnu et l'inattendu, et conduit souvent à la difficulté voire l'incapacité de décider. Elle influe sur la prise de décisions en univers indéterminé, inconfortable pour toute la chaîne d'acteurs. Le réflexe classique des acteurs est



© DSF/ Gilbert Douzon

2. Biotique : se dit d'un facteur lié à l'action des êtres vivants (source Bastien, Gauberville *et al.*, 2017).

▲ Dépérissement des Chênes en forêt de Vierzon, en 2003.

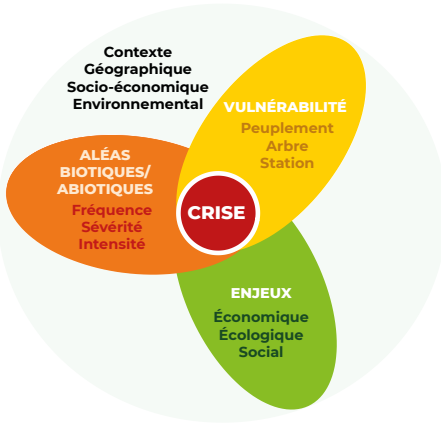


Figure 1 : Illustration d'une crise, résultat d'un risque concrétisé sur des enjeux divers, résultat de l'exposition de peuplements, arbres ou stations vulnérables à des aléas climatiques et/ou biotiques. (Adapté d'IPCC, 2012 dans le cas de crise avérée).

de chercher à disposer du maximum de connaissances et d'informations pour décider « rationnellement », pour limiter les coûts humains, financiers, politiques ou écologiques. Or, la crise ouvre une phase d'instabilité où toutes les composantes de l'amont et l'aval de la filière sont affectées. Les inconnues, nombreuses, portent notamment sur la nature et l'ampleur des dommages, le déroulement des événements, la succession des perturbations ou la réaction des acteurs. La crise se caractérise par la « dislocation » des cadres et des repères (Lagadec, 2010) qui fondent le fonctionnement habituel des organisations de la gestion, de la filière, des marchés. Ces incertitudes génèrent une pression forte sur les acteurs de la gestion, qui doivent apporter une réponse rapide, alors que le contexte est mouvant.

Au-delà de la gestion de l'urgence, la compréhension et le traitement du phénomène de rupture et de crises sanitaires

doivent être menés de concert afin de répondre à une double exigence :

l'exigence de recherche scientifique, qui conduit à se porter éventuellement sur de nouveaux fronts de problèmes, pour défricher les questions en gestation et les voies de réponses à explorer ;

l'exigence opérationnelle et stratégique, qui conduit à travailler au plus près du terrain et de tous les partenaires concernés pour contribuer à la construction effective des réponses possibles.

Un guide opérationnel et stratégique de gestion de crise

L'objectif de ce "Guide de gestion des crises sanitaires en forêt" concerne avant tout la gestion opérationnelle et organisationnelle des situations de crise.

Chaque nouvelle crise sanitaire en forêt apparaît souvent, aux yeux des gestionnaires qui doivent y faire face, comme inédite, sans équivalent connu de par son ampleur, la conjoncture et la nature du phénomène concerné. « Pourquoi semblons-nous continuellement en retard d'une crise ? » Il existe pourtant des aspects génériques dans les conséquences de crises climatiques ou biotiques, en termes de prise de décision, de diagnostic et de désorganisation des pratiques, de déstabilisation des marchés, d'épreuves pour les équipes humaines.

Ce guide se propose donc de mutualiser les acquis des divers acteurs et des gestionnaires des forêts privées et publiques. Ils sont présentés sous forme de douze fiches qui analysent les retours d'expérience *a posteriori* de manière critique, de

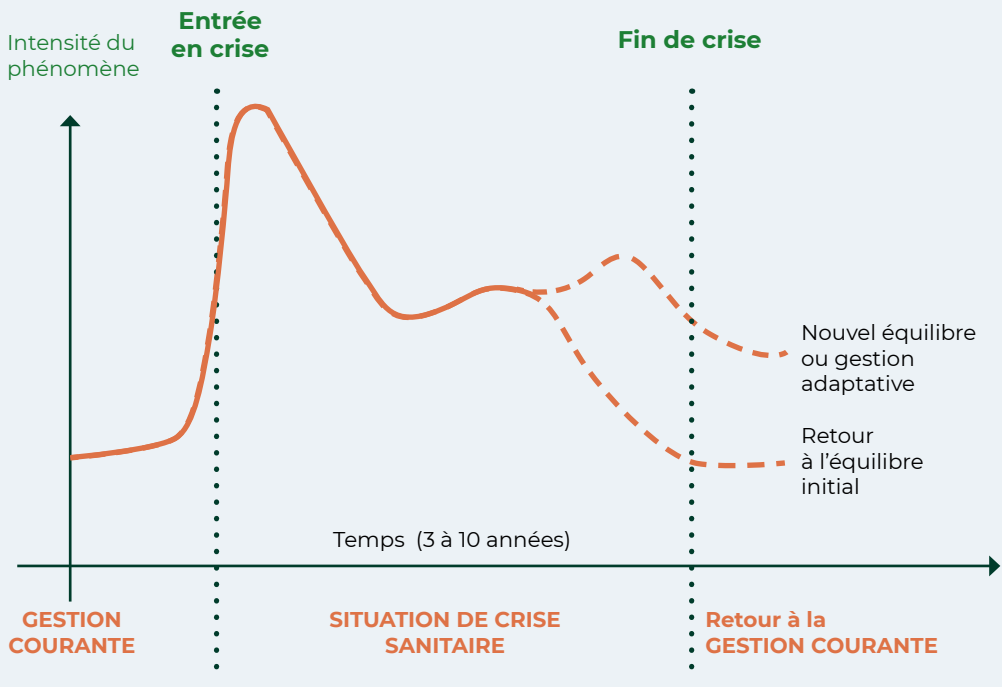
savoir-faire et d'innovation organisés en termes de recommandations opérationnelles : six d'entre elles étaient déjà présentes dans la première édition et sont ici actualisées. Le livre s'inscrit notamment dans le cadre de la gestion de crise adoptée par l'ONF (procédure de gestion de crise 9200-15-PRO-STR-002-vB, adoptée en 2003 et rénovée en 2019).

L'entrée en crise, présentant un caractère d'urgence, n'est que la partie immédiate et à court terme de l'épisode de crise, qui présente une dynamique dans le temps souvent difficile à anticiper. C'est souvent la phase la plus médiatisée, à travers l'annonce de plans d'urgence, de mise en place de cellules de crise, d'aides pu-

bliques. L'absence de préparation est génératrice de faux pas ou d'amplifications incontrôlables, en présence de décideurs débordés, de médias à l'affût, d'interlocuteurs vulnérables et épuisés. L'absence jusqu'à ce jour d'indicateurs objectifs, faisant référence vis-à-vis des décideurs pour labelliser une crise sanitaire en forêt, conduit à retarder la mise en place de mesures spécifiques. De même, la reconnaissance de la « fin de crise » n'est jamais abordée, à défaut encore d'indicateurs de suivi des impacts sur les différents enjeux d'une part, et d'appréciation précise de la résilience des systèmes.

Ce guide ne traite ni de la prévention qui fait partie de la gestion courante, ni

SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU DÉROULEMENT D'UNE CRISE SANITAIRE



QUELQUES DÉFINITIONS IMPORTANTES

CRISE

Il y a crise lorsqu'une perturbation crée, ou risque de créer des problèmes urgents et complexes qui ne peuvent pas être résolus dans le cadre du fonctionnement normal de la gestion et des moyens auxquels elle a accès. Cette dernière est fortement perturbée.

Par définition, la crise entraîne une rupture dans la gestion normale : la situation n'est pas totalement maîtrisée et il n'y a pas de solution optimale à disposition.

La crise est provoquée par l'ampleur, la difficulté ou l'acuité d'un problème dont on n'a pas acquis la maîtrise. Elle peut être d'échelle locale, régionale ou nationale.

DÉPÉRISSEMENT

Phénomène traduisant une altération durable de l'aspect extérieur des arbres (mortalité d'organes pérennes, réduction de la qualité et la quantité du feuillage) et une réduction de la croissance.

La mort d'un certain nombre de sujets est observée mais l'issue n'est pas obligatoirement fatale même si la situation est préoccupante (Delaunay, 1990).

VULNÉRABILITÉ

Propension ou prédisposition à subir des dommages. Cela englobe divers concepts, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter (Glossaire GIEC, Agard *et al.*, 2014).

RÉSILIENCE

Capacité d'un système socio-écologique à faire face à une perturbation ou un événement dangereux, permettant à celui-ci d'y répondre ou de se réorganiser de façon à conserver sa fonction essentielle, son identité et sa structure, tout en gardant ses facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation (Glossaire GIEC, Agard *et al.*, 2014).

RÉGIME DE PERTURBATION

Fréquence, intensité et nature des perturbations que subissent les systèmes écologiques, telles que les incendies, les pullulations d'insectes ou de ravageurs, les inondations et les sécheresses.

de la reconstitution qui est un sujet en soi, en particulier en contexte de climat changeant.

Un guide pour quel public ?

Les recommandations qui figurent dans ce guide sont à destination des professionnels de la gestion forestière : décideurs, experts, propriétaires avertis, gestionnaires de terrain, techniciens chargés

d'animation et de développement, services de l'État et de collectivités.

Forêts privées et forêts publiques sont concernées, malgré leur structure foncière très différente et leurs outils de planification de gestion spécifiques : il est en effet fréquent qu'une crise sanitaire touche simultanément ces deux types de propriétés, et que des mesures coordonnées méritent d'être mises en œuvre.

Il existe des enjeux économiques ou humains

(perte de production de bois, risques d'incendie, risques pour la santé humaine, réactivation possible d'aléas menaçant des enjeux économiques ou humains ...)

NON
→

Il n'y a pas de situation de crise sanitaire en l'absence d'enjeux économiques ou humains.

OUI
↓

Le seuil de crise a été atteint pour un ou plusieurs critères d'aide à la décision (voir chapitre 4)

- Taux de produits accidentels récoltés
- Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée
- Extension géographique
- Proportion du capital sur pied atteint
- Expertise de personnes référentes
- Difficulté majeure à renouveler la forêt

NON
→

Il n'y a pas de situation de crise sanitaire.

Assurer une vigilance accrue sur les peuplements forestiers.

OUI → Voir en page suivante

Figure 2 : ci-dessus une typologie de crises sanitaires qui fait ressortir :

- les phénomènes à l'origine de la situation de crise ;
- les impacts sur les peuplements forestiers ;
- les mesures à mettre en œuvre.

TYPES DE CRISE SANITAIRE	
DIAGNOSTIC	AGENTS EN CAUSE (biotiques ou abiotiques) Exemples
Risques pour la santé humaine	■ Chenilles urticantes <i>Chenilles processionnaires</i> ■ Suie de l'Érable ■ Bris de branches, chutes d'arbres
MORTALITÉS dues à phénomènes MONO FACTORIELS (ou bi factoriels) BIOTIQUES	■ Autochtones ou acclimatés <i>Scolytes des résineux</i> <i>Graphiose de l'Orme</i> <i>Puceron lanigère</i>
	■ Émergents <i>Chalara fraxinea</i>
	■ Parasites de quarantaine (liste réglementaire) <i>Nématode du Pin</i> <i>Flétrissement américain du Chêne</i>
MORTALITÉS dues à phénomènes MONO FACTORIELS (ou bi factoriels) ABIOTIQUES	■ Sécheresse, canicule. ■ Pollutions . ■ Tempêtes, grêle, givre, neige lourde... : crises non traitées dans ce guide
MORTALITÉS dues à phénomènes MULTI FACTORIELS à facteur déclenchant principal BIOTIQUE	■ Insectes défoliateurs <i>Chenilles, Pucerons, tenthrèdes.</i> ■ Pathogènes foliaires <i>Oïdium, rouge cryptogamique des Pins,</i> <i>bandes rouges des aiguilles, Sphaeropsis sapinea</i>
	■ Parasites <i>Gui</i>
MORTALITÉS dues à phénomènes MULTI FACTORIELS à facteur déclenchant principal ABIOTIQUE	■ Sécheresse, canicule ■ Aléas climatiques entraînant des crises sanitaires <i>a posteriori</i> : tempêtes, grêle, givre, neige lourde....
	■ Causes anthropiques <i>pollutions</i> <i>tassement de sol</i>
PAS DE MORTALITÉ Perte de qualité technologique des bois	■ Champignons lignivores <i>Fomes annosus</i> ■ Insectes xylophages <i>agents de piqûre</i> <i>capricornes</i> <i>buprestes</i>

TYPE D'ACTIONS CURATIVES*	ACTEURS TECHNIQUES PRINCIPAUX
■ Lutte curative par méthodes maîtrisées. ■ Sécurisation des routes, limitation des accès en forêt.	■ Réseau DSF (pôle, correspondants observateurs). ■ Organismes de gestion forestière.
■ Lutte curative par méthodes maîtrisées.	■ Réseau DSF (pôle, correspondants observateurs). ■ Organismes de gestion forestière.
■ Principe de précaution. ■ Mise en œuvre de recherches.	■ Réseau DSF (pôle, correspondants observateurs). ■ Organismes de recherche.
■ Mise en œuvre de mesures réglementaires spécifiques.	■ Ministère de l'agriculture (Sous-direction de la qualité, de la santé et de la protection des végétaux / DSF).
■ Actions principales : récolte des bois (et réduction des émissions de polluants).	■ Organismes de gestion forestière.
■ Lutte contre agents biotiques parfois possible : expertise préalable nécessaire.	■ Réseau DSF (pôle, correspondants observateurs). ■ Organismes de gestion forestière. ■ Organismes de recherche (alertés par DSF).
■ Pas de moyens de lutte autres que récolte.	■ Organismes de gestion forestière.
■ Suivant facteurs impliqués, lutte contre agents biotiques parfois possible : expertise préalable nécessaire. ■ Actions principales de récolte des bois suite à l'aléa climatique.	■ Réseau DSF (pôle, correspondants observateurs). ■ Organismes de gestion forestière. ■ Organismes de recherche (alertés par DSF).
■ Mise en œuvre d'actions correctives : - réduction des émissions de polluants - cloisonnements, techniques alternatives.	■ Organismes de gestion forestière.
■ Pas de moyens de lutte autres que récolte.. ■ Traitement ou extraction des grumes abattues.	■ Organismes de gestion forestière.

* Le détail des actions curatives à mener figure dans le manuel "La santé des forêts en France" (Nageleisen L.-M., 2010). Ces actions doivent être mises en œuvre en cohérence avec les autres enjeux préexistants localement (écologiques, paysagers, sociaux...).

Un guide pour quelles crises ?

Seules les crises forestières à caractère sanitaire concernant les peuplements forestiers³ sont abordées dans ce document : l'origine des perturbations peut être biotique (attaque de parasites ou de pathogènes) ou abiotique (sécheresse climatique, excès d'eau, gel, canicule). Les crises sanitaires abordées dans ce guide répondent le plus souvent aux critères suivants :

- se dérouler sur une échelle de temps considérée comme longue (plusieurs années, de l'ordre de 3 à 10 ans) ;
- être de nature complexe (dépérissements, épidémies de forte intensité, interférence de facteurs multiples) ;
- évoluer de manière incertaine, du fait de l'évolution difficilement prévisible dans le temps de certains facteurs ;
- menacer des enjeux humains, concernant le plus souvent la récolte de bois, la santé humaine, ou la protection contre les risques naturels.

En conséquence, les crises causées par un événement brusque de type choc (incendie de forêt, chablis suite à tempête, bris de glace, avalanche...) ne sont pas traitées dans ce guide. Le lecteur pourra pour certaines de ces situations se référer au [Plan national de gestion de crise tempête pour la filière forêt-bois \(2018\)](#).

Une crise peut en cacher une autre

Les crises issues d'événements brutaux (incendie, tempête, bris de glace, avalanche...) ne sont pas traitées dans ce guide.

Toutefois, ces crises graves peuvent être suivies, quelques mois ou années plus tard, de crises sanitaires très marquées :

- cas de pullulation de Scolytes au cours des années qui suivent des chablis importants de tempête ; ici, le choc « tempête » favorise la dynamique de population du ravageur.
- cas de mortalités importantes dues au *Sphaeropsis* sur Pin après bris de grêle ou de givre... Ici, le choc « grêle » provoque une augmentation de vulnérabilité des arbres au pathogène.

Suite à de tels événements brusques, une vigilance accrue ([voir chapitre 2 "Surveillance sanitaire des forêts"](#)) est donc nécessaire : elle permet d'anticiper, le cas échéant, l'arrivée d'une crise sanitaire consécutive.

Inversement, les crises sanitaires peuvent générer des risques naturels que la présence du couvert forestier atténue ou masque en temps normal :

- cas du risque d'incendies considérablement augmenté (inflammabilité, combustibilité) par augmentation de bois morts et de rémanents au sol résultant d'une crise sanitaire grave ;
- cas du risque lié à des chutes de blocs en montagne, aggravé par la diminution du nombre de tiges suite à une crise due aux Scolytes ;
- cas de reprise d'érosion sur des terrains sensibles dont le couvert forestier a fortement régressé suite à des phénomènes de dépérissement.

3. Les crises sanitaires sur populations animales ne sont pas traitées. (source Bastien, Gauberville et al, 2017).

CHAPITRE 2

La surveillance sanitaire des forêts : un préalable indispensable

La surveillance sanitaire en forêt repose actuellement sur un dispositif très complet (et unique en Europe), composé :

1 • d'un réseau d'hommes (les gestionnaires de terrain, les correspondants observateurs et les personnels permanents du département santé des forêts DSF) ;

2 • de réseaux de sites,

- **permanents** : réseau systématique de suivi des dommages forestiers, RENECOFOR (réseau national de suivi des écosystèmes forestiers),
- **non permanents** : placettes de l'inventaire forestier national ou placettes semi-permanentes mises en place localement à la suite d'un événement particulier (tempête, dépérissement, émergence d'un nouveau ravageur...).

Les acteurs de la vigilance sanitaire : un réseau d'hommes

Le propriétaire forestier, le gestionnaire, l'ouvrier ou l'exploitant qui travaillent au contact permanent de la forêt sont bien placés pour détecter un événement anormal (zone de mortalité, coloration du feuillage anormale...).

En outre, le gestionnaire peut suivre à son niveau des indicateurs comme la récolte de produits accidentels (voir chapitre 4 "Indicateurs d'aide à la décision"). Une augmentation anormale à l'échelle d'une propriété peut alerter et induire une enquête de terrain pour un diagnostic plus précis.

Cependant, des dégradations progressives et lentes de la santé des arbres peuvent passer totalement inaperçues à ces hommes de terrain tant qu'une identification précise de ce qu'il faut observer n'a pas été réalisée.

Le réseau de correspondants-observateurs (CO) du DSF, composé des personnels techniques de l'ONF et du CNPF, permet de détecter des changements parfois subtils ou des anomalies : il est donc un maillon fondamental dans la surveillance de la santé des forêts, grâce à sa répartition (plus de 250 correspondants) et à la

compétence acquise par une formation continue constante. Le rôle premier des correspondants-observateurs est d'être à l'écoute des « hommes de terrain », leur « caisse de résonance ». Mais également par leur présence fréquente en forêt, ils réalisent eux-mêmes des observations assurant une détection la plus précoce possible des situations à problèmes. Ces observations remontent au « pôle » interrégional ou régional de la santé des forêts (DSF) qui les agrège. Ce dernier réalise leur analyse et leur synthèse et peut alors avec pertinence apprécier la gravité (ou non-gravité) de la situation.

Pour trouver les coordonnées d'un CO ou d'un pôle DSF :
<https://agriculture.gouv.fr/la-sante-des-forets-dans-votre-region>



© DSF / L. M. Nagelisen

▲ Notation de l'état des cimes aux jumelles par deux correspondants-observateurs du Département de la santé des forêts.

Les réseaux de sites de surveillance implantés en forêt

Les réseaux de sites, notamment ceux qui sont permanents, fournissent des observations standardisées à pas de temps en général annuel, quel que soit l'état de santé du peuplement. Les sites en bonne santé peuvent alors servir de témoin « sain » alors que dans le cas des observations des correspondants-observateurs aucun témoin « sain » n'est généralement disponible.

Les réseaux de sites sont pertinents à l'échelle régionale ou nationale : leur densité d'échantillonnage ne permet pas de détecter des événements locaux.

LES RÉSEAUX NATIONAUX DE LA SANTÉ DES FORÊTS

RÉSEAUX D'HOMMES				
Réseau national	Effectif	Couverture	Période	Type d'observations
Correspondants-observateurs DSF (CO)	■ 250 CO. ■ Plus de 10 000 observations annuelles enregistrées dans une base de données	■ Couverture nationale. ■ Environ 1 CO pour 60 000 ha ; densité variable en fonction des occurrences de dommages	Toute l'année.	Tous dommages et causes de dommages repérés au cours de leurs activités ou signalés par les divers acteurs forestiers (propriétaires, gestionnaires, exploitants...)
Permanents du département de la santé des forêts (DSF)	■ 1 tête de réseau à Paris, 4 experts nationaux, 6 pôles interrégionaux ou régionaux totalisant 26 permanents, animateurs du réseau des CO	-	-	En appui aux CO pour les cas complexes et la formation
RÉSEAUX DE SITES DE SURVEILLANCE EN FORÊT				
Réseau national	Effectif annuel (approximatif)	Densité d'observation	Période d'observation	Observations réalisées
Réseau systématique de suivi des dommages forestiers (composante d'un réseau européen)	■ 600 placettes permanentes (551 effectives en 2018) ■ 12 000 arbres ■ 20 arbres dominants observés par placette	■ 1 placette pour 25 000 ha ■ réseau à maille carrée de 16 km x 16 km	1 observation par an (juillet-août)	■ Mortalité de branches ■ Manque de ramification ■ Déficit foliaire ■ Dommages et causes de dommages
Réseau de suivi des écosystèmes forestiers (RENECOFOR)	■ 102 placettes permanentes ■ 5 300 arbres (52 arbres par placette)	Réseau non systématique (en forêt publique uniquement)	2 observations par an (printemps et juillet- août)	■ Mortalité de branches ■ Manque de ramification ■ Déficit foliaire ■ Dommages et causes de dommages
Inventaire forestier national	■ 7 000 placettes (non permanentes) ■ plus de 100 000 arbres	■ 1 placette pour 2 000 ha ■ réseau à maille de 1 km	1 observation par an. Toute l'année	■ Mortalité de tiges et de branches ■ Manque de ramification ■ Gui ■ Pourritures de cœur



© DSF/François-Xavier Saintonge

▲ *Chenilles processionnaires du Pin.*

Une stratégie nationale de surveillance

Après 20 ans de fonctionnement, le département de la santé des forêts (DSF) a mis en place en 2007 une nouvelle stratégie de recueil de l'information orientée en 3 axes :

- des suivis spécifiques par ravageur ou par type de peuplement sont définis et mis à jour pour les principales causes connues de dommages forestiers : chalarose du Frêne, plantations de l'année, peupleraies, défoliateurs des Chênes, Processionnaire du Pin, Typographe de l'Épicéa, Tordeuse grise du Mélèze, dépérissements, Chêne liège, Hanneçons, Fomes, Pyrale du Buis ;

- une surveillance du territoire vis-à-vis des organismes potentiellement envahissants est mise en place à l'aide de prospection ciblée, en particulier pour certains parasites de quarantaine comme le Nématode du Pin ou le flétrissement américain du Chêne ;



© DSF/L.M. Nagelisen

▲ *Correspondant-observateur recherchant des Scolytes sur Chêne.*

- une veille sanitaire est assurée sur les autres causes de dommages à l'aide d'une fiche de signalement simplifiée.

Cette stratégie permet d'optimiser le temps de travail des correspondants-

observateurs en se concentrant sur les problèmes importants tout en gardant une vigilance sur les nouveaux ravageurs qui pourraient se présenter.

Des dispositifs particuliers peuvent toutefois être mis en place à l'échelle nationale ou régionale en cas de perturbations majeures (tempête, sécheresse...).

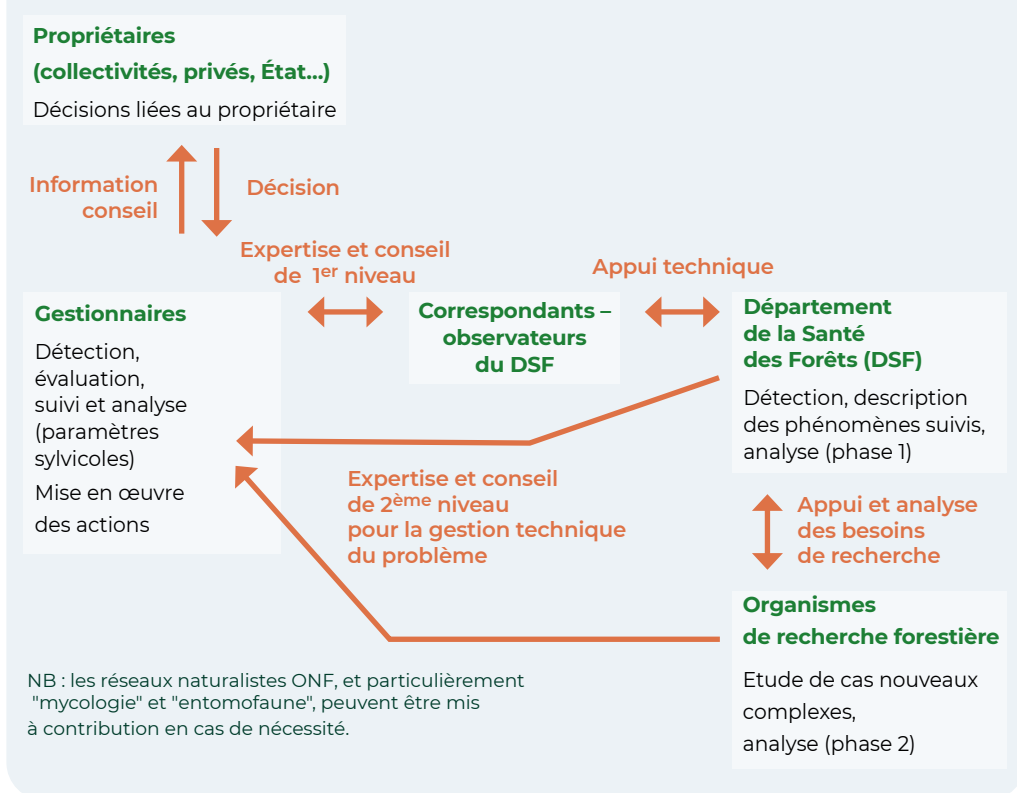
Exemples : suivis sur les dépérissements de Hêtres en Grand-Est et Bourgogne-Franche-Comté à partir de 2020 ; enquête nationale sur les dépérissements de Chênes suite aux sécheresses 2018 et 2019...

Le correspondant-observateur : l'interlocuteur du gestionnaire

Le correspondant-observateur est le maillon indispensable à l'interface entre forestier de terrain et expert (DSF ou chercheurs).

En cas de problèmes nouveaux qu'il ne maîtrise pas, le CO fait appel aux experts du DSF : dans les cas les plus complexes, ces derniers font appel à la recherche (INRAE essentiellement) pour étudier les nouveaux cas et apporter des réponses scientifiques.

LES INTERFACES ENTRE FORESTIERS DE TERRAIN ET EXPERTS



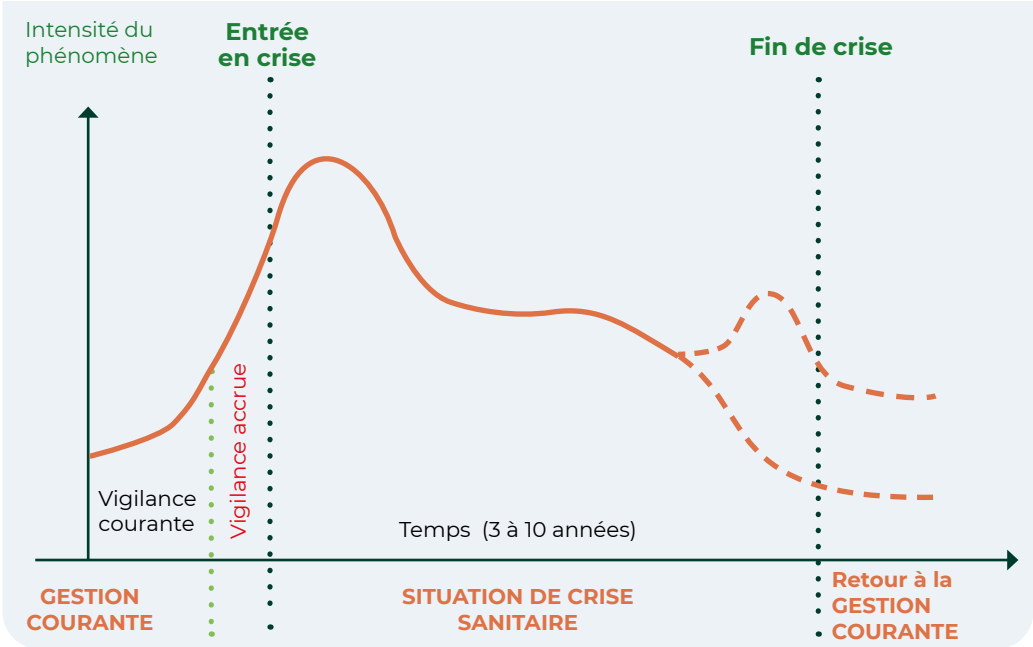
Vigilance courante
et vigilance accrue

Le plus souvent, les perturbations aménées par un phénomène sanitaire se mettent en place de manière progressive.

Il est alors possible de distinguer 3 situations (voir tableau ci-dessous). Ce guide aborde principalement la situation de crise sanitaire.

			Type de gestion	Actions principales
GESTION COURANTE	Pas de perturbation sanitaire marquante	SITUATION DE VIGILANCE COURANTE	La gestion forestière courante s'applique	Actions programmées par les documents de gestion durable.
	Phénomène émergent → premières perturbations	SITUATION DE VIGILANCE ACCRUE	La gestion forestière courante est adaptée à la situation	■ Idem que ci-dessus. ■ Mise en place d'un suivi d'indicateurs pertinents liés au phénomène émergent. (ex. : suivi des volumes sanitaires récoltés).
GESTION DE CRISE	Phénomène installé → impacts importants	SITUATION DE CRISE SANITAIRE	Une gestion de crise est nécessaire	■ Mise en place d'une cellule de crise (voir chapitre 3 "Quels partenariats établir ?"). ■ Mise en œuvre d'actions adaptées à la crise : voir chapitre 6 "Actions opérationnelles".

SITUATIONS DE VIGILANCE & SITUATIONS DE CRISE



CHAPITRE 3

Quels partenariats établir ?

Les acteurs dans la tourmente

La gestion d'une crise avérée ou potentielle (situation de vigilance accrue) concerne principalement :

- les acteurs en charge de la gestion opérationnelle des forêts,
- les propriétaires forestiers publics et privés,
- les gestionnaires forestiers (ONF, experts privés, coopératives...),
- les entreprises chargées de l'exploitation ;
- l'État qui peut,
 - assurer ou déléguer la coordination des acteurs au sein d'une cellule de crise multipartenaires ;
 - mettre en place des dispositifs réglementaires de lutte obligatoire (arrêtés préfectoraux), parfois nécessaires en cas d'intervention rapide chez de nombreux propriétaires difficiles à mobiliser ;
- les partenaires apportant de l'expertise de haut niveau (pôles interrégionaux et régionaux de la santé des forêts) et ceux menant des actions de recherche forestière (INRAE, universités...) ou de développement (CRPF, IDF) ;
- les partenaires institutionnels pouvant apporter des financements (collectivités locales : régions, départements) ;
- les filières amont (pépinières) et aval (filière bois).

Qui décide d'une entrée en crise sanitaire ?

Pour des événements concernant plusieurs acteurs, ce sera par consensus de leurs dirigeants qu'une situation de crise pourra être décidée.

Pour des événements qui ne touchent qu'un seul organisme, cas peu fréquents, cette décision est du seul ressort de son directeur, de manière indépendante.

Il est nécessaire de solliciter chaque fois que possible le préfet de région pour initier l'entrée en crise et assurer (ou déléguer) la coordination des acteurs impliqués, notamment dans les cas impliquant des mesures réglementaires (parasites de quarantaine).

Pour l'ONF¹, seuls les directeurs d'agence, directeurs territoriaux et directeur général sont habilités à en décider. Une cellule

1. Instruction INS-18-G-140 du 13 mars 2018.

de crise interne à l'ONF est toujours créée, même dans les cas de crises multi-partenaires.

Cette entrée en crise s'appuie sur des critères d'aide à la décision (voir chapitre 4).

La cellule de crise : une coordination nécessaire

En situation de crise avérée (voir chapitre 4 "Indicateurs d'aide à la décision"), le fonctionnement normal de l'activité est perturbé. Il est donc légitime d'adapter l'organisation aux nouvelles conditions.

Il est indispensable de mettre en place une cellule de crise composée :

- d'un responsable, manager ayant pouvoir de décision ;
- d'un animateur de la cellule de crise ;
- de responsables opérationnels mandatés par les organismes concernés ;
- de spécialistes (phytosanitaire, mobilisation des bois, SIG...) ;
- d'un porte-parole chargé de diffuser les informations jugées utiles et d'assurer l'ensemble de la communication.

Les crises sanitaires impactent souvent plusieurs domaines d'activité (gestion durable, commercialisation des bois, travaux, recherche et développement, ressources humaines...) et concernent fréquemment plusieurs organismes.

Le rôle de la cellule de crise est donc de :

- centraliser les informations ;
- identifier les enjeux principaux et définir la stratégie d'intervention ;
- assurer l'ensemble de la communication (voir chapitre 7 "Communication interne et externe") ;
- préciser le rôle de chaque participant ;
- mobiliser et coordonner les moyens (humains, matériels, financiers) ;
- déterminer les méthodes de suivi des phénomènes (voir chapitre 5 "Suivi des phénomènes observés").

Un journal de crise, tenu par l'animateur de la cellule, est nécessaire pour enregistrer événements et décisions prises.

Ne s'agissant pas de crises en urgence immédiate (comme le sont des crises "tempêtes" ou "incendie"), il n'y a généralement pas lieu de prévoir de dispositif lourd d'échange d'informations à pas de temps rapproché. Un transfert d'informations pertinentes doit néanmoins être assuré entre organismes et également au sein de chaque organisme.

Associer la filière bois

Les acteurs de la filière bois sont très fréquemment concernés par les situations de crise car, au-delà des impacts économiques, certains parasites se propagent dans les forêts en suivant les chaînes d'approvisionnement des industriels.



▲ Tournée de terrain effectuée par une cellule de crise concernant le Peuplier.

Circonscrire géographiquement l'attaque demande d'impliquer tôt la filière d'approvisionnement afin d'organiser la circulation des lots de bois infectés.

Ce point est important car les décisions de lutte doivent être prises rapidement pour :

- limiter l'extension géographique des attaques de parasites et agents pathogènes ;
- atténuer autant que possible les perturbations sur les cadences d'approvisionnement des industriels.

Moins les consignes sont perçues comme des contraintes par les partenaires, mieux elles seront appliquées et finalement efficaces. De la compréhension par tous du bien-fondé des moyens de lutte dépend la rapidité de maîtrise de la crise.

Ainsi, dans le cas de la lutte contre les Scolytes en Franche-Comté (voir [fiche de cas 11](#)), une charte de bonne conduite a été proposée afin de coordonner tous les acteurs et de définir les rôles de chacun. Cette étape a permis d'associer efficacement la filière bois à cette lutte.

LES POINTS CLÉS DE LA RÉUSSITE DU PARTENARIAT

Écouter et évaluer les alertes des acteurs de terrain et experts dans des délais très courts.

- Décloisonner forêt publique et forêt privée, au sein d'une cellule de crise les incluant.
- Impliquer dès le début les acteurs économiques de toute la filière, de l'amont à l'aval.
- Prendre des arrêtés préfectoraux de lutte obligatoire pour les cas le nécessitant (en cas d'absence des propriétaires forestiers, pour permettre de se substituer à eux) ; ces arrêtés peuvent s'avérer très utiles notamment lorsque les acteurs économiques sont nombreux et peu mobilisés.
- Mettre en place un réseau d'observation dédié.
- Pour certains cas, partager le territoire entre les gestionnaires identifiés ou potentiels (coopératives, experts forestiers, gestionnaires forestiers professionnels, Office national des forêts...).
- Inciter les exploitants à adhérer à une « charte de bonne conduite » précisant par exemple la priorité en matière d'exploitation à la lutte contre le(s) parasite(s) ou la récolte des bois déperissants.
- Développer les échanges avec les forestiers de régions voisines et, le cas échéant, à l'étranger, en vue de croiser les expériences en matière de lutte.

CHAPITRE 4

Critères d'aide à la décision d'entrée en crise sanitaire

Pourquoi des critères ?

Lorsqu'une perturbation est susceptible d'impacter la gestion forestière, il est important de déterminer si des adaptations sont à engager :

- dans le cadre de la gestion courante (cas d'impacts faibles ou modérés) ;
- dans le cadre de la mise en place d'une gestion de crise (cas d'impacts importants, induisant une rupture dans la conduite normale) ; dans ce cas, des actions spécifiques seront à mener pour résoudre ou atténuer les effets de la crise sanitaire.

Des critères d'appréciation permettent de déclarer la situation de crise pour que cette dernière soit reconnue par l'ensemble des acteurs, de manière objective.

À quelle échelle apprécier une crise sanitaire ?

Les critères proposés ci-dessous ont vocation à être analysés :

- à l'échelle du territoire affecté par le phénomène influant sur l'état sanitaire ou susceptible de l'être (forêt, région naturelle...) ;

- pour les seules essences atteintes (les essences non concernées ne doivent pas faire partie du diagnostic : cas des feuillus lors d'une crise due à des Scolytes de résineux).

Quels critères d'entrée en crise sanitaire ?

Les situations de crise sont nombreuses et peuvent prendre de multiples formes. Pour déclarer une crise sanitaire, plusieurs critères peuvent être invoqués, à adapter à chaque cas précis.

L'existence de bases de données géo-référencées à jour (peuplements forestiers, stations forestières, desserte...) facilite le diagnostic et permet de mieux apprécier les risques potentiels encourus par les peuplements forestiers.

Atteintes à la santé humaine

Certains parasites ou pathogènes peuvent conduire à des atteintes graves pour la santé humaine, aussi bien pour les gestionnaires et entrepreneurs forestiers que pour le grand public (ex. : chenilles urticantes, spores de la suie de l'Érable).

VARIATION DE L'ACTIVITÉ VÉGÉTALE PRINTANIÈRE POUR LES SURFACES EN RÉSINEUX ENTRE 2000 ET 2007

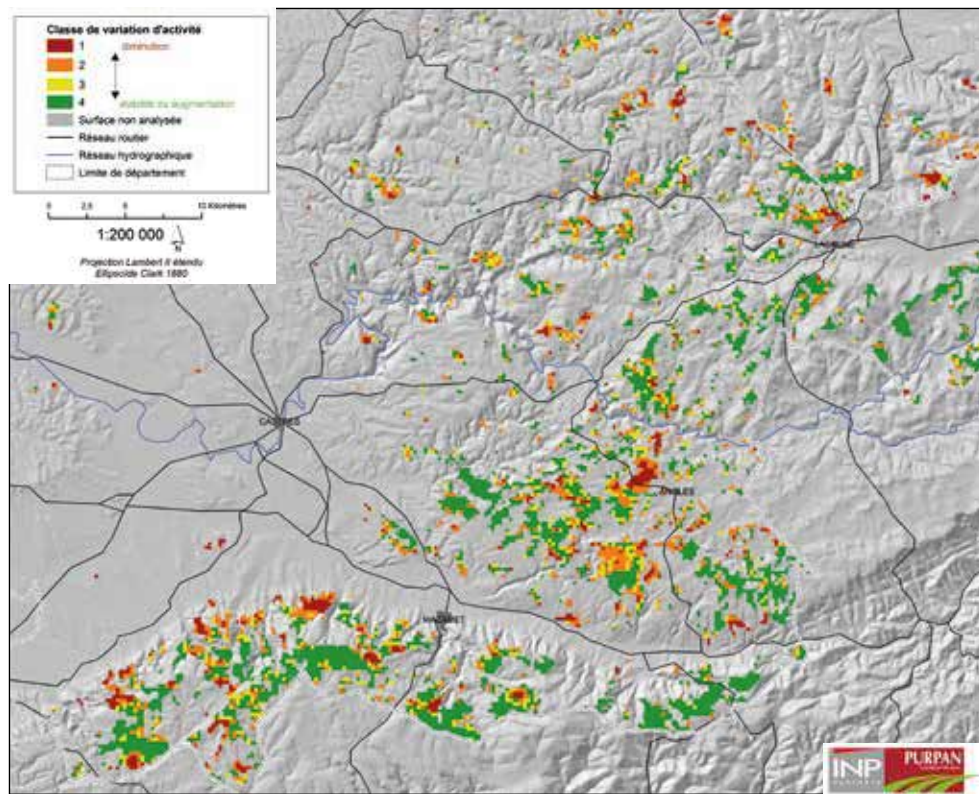


Figure 1 : Cartographie des peuplements atteints par la crise "Typographe de l'Épicéa" dans le Tarn et l'Aveyron (École de Purpan, CRPF Midi-Pyrénées et col. 2007).

La multiplication ou le développement potentiellement important de tels événements peuvent concourir à déclarer une situation de crise, en concertation avec les services de l'État chargés de la santé publique.

Expertise de personnes référentes

Pour des phénomènes très bien connus (notamment dans le cas de maladies à propagation très rapide), il est possible de consolider la décision d'entrée en crise par l'expertise de spécialistes reconnus, sans qu'il soit besoin d'attendre l'apparition de dégâts massifs.

Le Département de la santé des forêts, des laboratoires scientifiques, l'Inventaire forestier national peuvent contribuer à ces expertises pour en garantir la fiabilité. Elles sont nécessaires notamment dans le cas de phénomènes durables entraînant des pertes de croissance sans mortalité (attaques de défoliateurs, rouille sur Peuplier, maladie des bandes rouges sur Pin laricio).

Taux de produits accidentels¹ récoltés

Les volumes de bois récoltés pour des raisons sanitaires sont cumulés sur la ou les

1. PA : Produits accidentels ; bois récoltés suite à un événement ayant affecté leur santé ou leur qualité technologique.

années concernées par la perturbation. Ils sont comparés à la récolte annuelle normale prévue par les aménagements et les plans de gestion.

Cet indicateur est fondamental et doit être mobilisé chaque fois que possible (tableau 1).

Nombre de coupes d'urgence en forêt privée soumise à plan simple de gestion (PSG)

En cas de fortes perturbations, les propriétaires privés peuvent être contraints de réaliser des coupes non prévues à leur PSG. L'afflux de demandes de coupes d'urgence auprès du Centre régional de la propriété forestière constitue un indicateur pour appréhender une situation de crise sanitaire.

Cet indicateur doit être complété par la connaissance de l'extension géographique du phénomène.

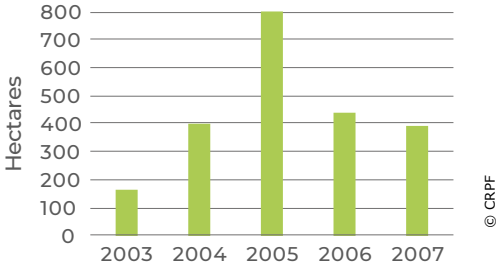


Figure 2 : Surfaces passées en coupes d'urgence et extraordinaires dans le Tarn. Toutes forêts, 2003-2006

Extension géographique

La connaissance de l'ampleur du territoire affecté par le phénomène contribue fortement à la prise de décision d'entrée en crise. En effet, l'implication des acteurs, l'organisation à adopter et les mesures à mettre en place sont largement tributaires de cette extension géographique.

À ce stade très précoce, le contour de la zone touchée doit être rapidement connu pour apprécier l'échelle de la crise

		Situation de crise ?
PLAINE	Vol. cumulé produits accidentels ¹ < 10 % récolte normale	NON SITUATION DE VIGILANCE COURANTE
MONTAGNE	Vol. cumulé produits accidentels ¹ < 25 % récolte normale	
PLAINE	10 % récolte normale < Vol. cumulé PA ¹ < 20 % récolte normale	NON SITUATION DE VIGILANCE ACCRUE (GESTION COURANTE)
MONTAGNE	25 % récolte normale < Vol. cumulé PA ¹ < 50 % récolte normale	
PLAINE	Vol. cumulé produits accidentels ¹ > 20 % récolte normale	OUI
MONTAGNE	Vol. cumulé produits accidentels ¹ > 50 % récolte normale	

Les seuils ci-dessus peuvent être affinés localement par consensus au sein de la cellule de crise : par exemple, en moyenne montagne, il est possible de retenir un seuil intermédiaire de l'ordre de 30 % (cas de la crise Scolytes sur Épicéa commun dans le nord-est en 2018-2020).

Tableau 1 : Taux de produits accidentels récoltés.

	Situation de crise ?
Surface terrière* cumulée atteinte / Surface terrière* totale < 10 % (moins de 10 % du capital sur pied sont atteints)	NON SITUATION DE VIGILANCE COURANTE
10 % < Surf. terrière* cumulée atteinte / Surface terrière* totale < 20 % (10 à 20 % du capital sur pied sont atteints)	NON SITUATION DE VIGILANCE ACCRUE (GESTION COURANTE)
Surface terrière* cumulée atteinte / Surface terrière* totale > 20 % (plus de 20 % du capital sur pied sont atteints)	OUI

* ou volume sur pied

Tableau 2 : Proportion du capital sur pied atteint.

potentielle : c'est par enquête auprès des acteurs de terrain que les surfaces concernées peuvent être déterminées de manière réactive (réseaux de surveillance, acteurs locaux, observations le long des routes, etc.).

Les méthodes utilisant la télédétection, généralement plus lourdes à mettre en œuvre, ne seront souvent utiles que dans un deuxième temps (voir annexe 2 "La télédétection : outils et perspectives").

Proportion du capital sur pied atteint

Un inventaire mené sur le territoire permet de diagnostiquer la proportion de capital sur pied touché par un phénomène : elle peut s'appréhender sur la base d'un réseau de placettes temporaires, sur lesquelles on estime le rapport "Surface terrière cumulée des arbres atteints / Surface terrière totale". La surface terrière des arbres atteints doit alors cumuler celle des tiges ayant subi des dégâts sur les 2 à 3 années précédentes (voir tableau 2).

Difficultés majeures à renouveler la forêt

Certaines crises sont déclenchées par des ravageurs ou maladies qui conduisent au blocage du renouvellement de la forêt (attaques de hannetons par exemple), couplé ou non au dépérissement des arbres adultes.



© DSF/L.M. Nageleisen

▲ Pins maritimes défoliés par les chenilles processionnaires.

Ces phénomènes, s'ils se produisent à large échelle, peuvent remettre en cause la pérennité du couvert forestier et entraîner significativement la gestion forestière. Si ce critère est important, les gestionnaires manquent encore de recul pour fixer des seuils généralisables à l'ensemble des situations. Il faut donc veiller à bien documenter les difficultés et échecs de renouvellement, tant artificiel que naturel, et analyser dans quelle mesure il remet en cause la gestion courante et les itinéraires sylvicoles classiques.

Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers

Les peuplements forestiers peuvent être vulnérables en fonction des conditions stationnelles et de leurs caractéristiques dendrométriques (âge, densité, composition...) : perte de croissance, dépérissement ou mortalité peuvent subvenir. La connaissance de ces facteurs de vulnérabilité s'enrichit progressivement grâce aux travaux de la recherche forestière. Ces

nouveaux acquis scientifiques alimentent l'expertise des personnes référentes.

L'origine des peuplements forestiers peut également être déterminante :

- naturelle ou artificielle ;
- origine géographique des matériels forestiers de reproduction utilisés (graines ou plants), le cas échéant.

L'archivage des origines des graines et plants installés en forêt est nécessaire, sur le long terme, pour pouvoir expliquer certains phénomènes de dépérissement.

Analyse des impacts possibles sur la filière bois

Certains événements sont susceptibles d'entraîner des perturbations conséquentes en matière d'approvisionnement des unités industrielles de transformation de bois, le plus souvent par mise en marché de volumes très importants.

La prévision d'un dépassement notoire de la capacité d'absorption des bois par ces unités est un critère d'aide à la décision d'entrée en crise.



Patrick Léchine © CNPF

▲ Vidange de bois scolytés.

CHAPITRE 5

Comment assurer le suivi des phénomènes observés ?

À l'échelle régionale, assurer le suivi des critères d'entrée en crise

Il est généralement précieux de suivre dans le temps les critères ayant permis de déclarer l'entrée en crise ([voir chapitre précédent 4 "Indicateurs d'aide à la décision"](#)).

Par exemple :

- suivi du taux de produits accidentels récoltés ;
- suivi de la surface passée en coupes extraordinaires de produits accidentels ;
- dans certains cas, suivi de l'extension géographique par utilisation de la télédétection ([voir annexe 2 "La télédétection : outils et perspectives"](#))...

Ces suivis sont le plus souvent à mener à l'échelle du périmètre de la crise : ils donnent des informations objectives et quantitatives fondamentales pour orienter les décisions de la cellule de crise.

Il est du rôle de celle-ci de coordonner les suivis à effectuer sur une échelle régionale ou territoriale.

À l'échelle locale, un suivi possible des dépérissements¹

Confronté à un dépérissement dans une parcelle, le forestier doit tout d'abord évaluer l'ampleur de l'événement de façon à prendre les décisions de gestion adéquates. Dans un deuxième temps, il doit s'intéresser à la dynamique temporelle du phénomène pour soupeser les risques d'aggravation de la situation.

Pour ces évaluations, il observera essentiellement les symptômes caractéristiques d'un dépérissement. Cette évaluation, basée sur les symptômes, a l'avantage d'être réalisable même dans le cas d'une compréhension imparfaite des facteurs en cause dans le processus de dépérissement. Cette compréhension nécessite

1. Dépérissement : phénomène traduisant une altération durable de l'aspect extérieur des arbres (mortalité d'organes pérennes, réduction de la qualité et la quantité du feuillage) et une réduction de la croissance. La mort d'un certain nombre de sujets est observée mais l'issue n'est pas obligatoirement fatale même si la situation est préoccupante (Delatour, 1990).

en général des investigations poussées, souvent hors de portée du gestionnaire.

L'annexe 1 « **Protocoles de notation pour l'évaluation ou le suivi d'un dépérissement** » détaille les différentes méthodes d'échantillonnage statistique et les différents protocoles de notations symptomatologiques des arbres dans un contexte de dépérissement.

La cellule de crise et les spécialistes associés peuvent utilement conseiller les gestionnaires sur la mise en place de dispositifs locaux d'observation. En retour, ces diagnostics de terrain constituent des informations précieuses qu'il est souhaitable de faire remonter à la cellule de crise.



© DSF / L.M. Nagelsien

▲ Évaluation aux jumelles de l'intensité de la défoliation par la chenille processionnaire sur *Pin maritime*.

CHAPITRE 6

Actions opérationnelles en situation de crise sanitaire

Cellule de crise

Rappel :

Il est indispensable de mettre en place une cellule de crise impliquant l'ensemble des acteurs concernés, chaque fois que possible sous la coordination du préfet de région ou de son délégué.

(Voir chapitre 3 "Partenariats").

Les actions opérationnelles à mettre en œuvre doivent être coordonnées entre partenaires au sein d'un plan d'action établi par la cellule de crise. Une analyse de risques permet d'identifier celles qui ont un caractère prioritaire.

Chaque organisme concerné décline à son échelle les actions de son ressort et met en place l'organisation qui s'avère nécessaire.

Aménagements et plans de gestion

Les crises sanitaires génèrent le plus souvent des dégradations aux peuplements forestiers : capital sur pied, composition

en essences, structure et couvert peuvent être fortement affectés. Cet état de fait peut alors remettre en cause les objectifs d'aménagement, sur des échelles liées à l'extension du phénomène (partie de forêt, massif forestier, région forestière voire au-delà). La démarche sera différente selon qu'on est en forêt publique ou en forêt privée.

En début de crise : modifier l'aménagement en forêt publique (procédure légère)

Lorsque les objectifs d'aménagement sont remis en cause et pour permettre de gérer la crise sanitaire dans un cadre juridique garantissant la gestion durable de la forêt, il peut être nécessaire de réviser en début de crise une modification d'aménagement (forêts publiques) permettant de donner plus de souplesse au gestionnaire, confronté à des événements peu prévisibles.

Cette modification doit être réalisée de manière très légère, sur la base d'une analyse rapide du phénomène et de ses conséquences. Souvent, les évolutions ne



Source : ONF

▲ Couverture d'un aménagement forestier.

sont pas prévisibles (localisation, intensité, rapidité) : il ne s'agit donc pas de fixer un nouveau cadre détaillé, mais plutôt d'autoriser qu'une gestion adaptative puisse se mettre en place, adaptable à l'évolution des dégâts dans le temps. Cette modification peut concerner la périodicité des coupes, voire en cas de nécessité les classements de parcelles (possibilité de transférer amélioration ↔ régénération).

Un exemple figure dans la **fiche de cas 1 "Dépérissement du Chêne en forêt de Vierzon"**.

Une révision complète des aménagements ou plans simples de gestion n'est généralement pas pertinente en début ou en cours de crise. Toutefois, dans le cas de dégâts impactant notablement les ob-

jectifs et les choix de gestion de grandes forêts à fort enjeu social, un aménagement de courte durée dit "aménagement de crise" peut être établi pour donner un cadre d'intervention adapté.

En forêt privée, on procèdera plutôt par demandes de coupes d'urgence au cas par cas. Le plan simple de gestion devra faire l'objet d'un avenant ou être modifié à l'issue de ces interventions pour l'adapter au nouveau contexte.

En fin de crise : diagnostiquer la nécessité de réviser (ou non) le document de gestion

Lorsque l'intensité du phénomène a régressé au point de clore la situation de crise, l'état des forêts doit être analysé succinctement de manière à répondre à la question suivante :

"L'état des peuplements permet-il de poursuivre les objectifs et le programme d'actions tel que définis dans le document initial et ses modificatifs ?"

- En cas de réponse positive : pas de révision du document de gestion.

Exemples :

- phénomène ayant entraîné des mortalités accentuant le mitage de peuplements aménagés en futaie irrégulière sans entraîner de grandes ouvertures dans les peuplements ;
- phénomène ayant entraîné des dégâts en peuplements en cours d'amélioration sans modifier leur structure initiale (cas de jeunes futaies de Douglas atteintes de dessèchement de cime ou de Pin laricio contaminés par la maladie des bandes rouges).

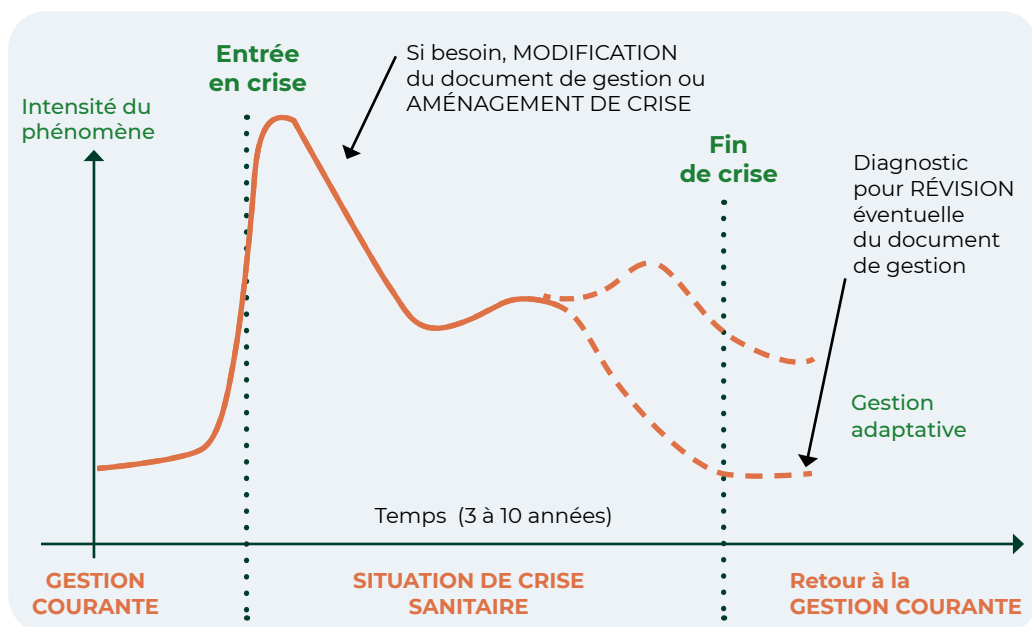
- En cas de réponse négative : révision du document de gestion.

Exemples :

- phénomène ayant entraîné des mortalités très importantes dans des peuplements classés en amélioration de futaie

régulière ; nécessité de revoir le classement ;

- surfaces importantes nécessitant reconstitution ou mise en régénération ou changement d'essence ; nécessité de fixer un nouvel effort de renouvellement et des essences objectifs adaptées.



En cas de révision du document de gestion¹, c'est une démarche complète qu'il y a lieu de mener : état des lieux, objectifs à poursuivre, programme d'actions et prévisions. Les données générées au cours de la période de crise pourront être mises à profit pour assurer un travail de qualité (images aériennes, bilans des volumes récoltés, diagnostics de peuplements, descriptions diverses...).

NB : la révision du plan de gestion peut intervenir lorsqu'une nouvelle stabilité et donc un nouvel équilibre semblent s'être mis en place (voir chapitre 8 "Sortie de crise sanitaire").

La doctrine établie pour les forêts publiques

Des procédures adaptées ont été définies (2019) en lien avec le ministère chargé des forêts et intégrées aux directives et orientations nationales d'aménagement et de gestion (DNAG et ONAG) des forêts publiques. Suivant le cas peuvent être engagés :

- des modifications d'aménagement, par arrêtés individuels ou multi-aménagements ;

1. Pour la forêt publique, le seuil minimum de 25 % de variation d'un des critères suivants est fixé pour entraîner une révision d'aménagement : surface totale, surface sur laquelle les interventions sont profondément modifiées, surface affectée aux essences objectifs, objectifs de renouvellement, surface en enjeu fort.



© ONF - X. Gauquelin

▲ Matériel de diagnostic.

- des prorogations d'aménagement, par arrêtés individuels ou multi-aménagements ;
- des aménagements de crise sur courte durée, adaptés aux phénomènes en cours.

Diagnostics avant intervention

En situation de crise sanitaire, certaines interventions (essentiellement les opérations de désignation des bois à récolter) doivent s'appuyer sur un diagnostic avant intervention.

Effectuer un tel diagnostic donne des éléments de réponse aux questions suivantes :

- y a-t-il nécessité d'intervenir ?
- si oui, avec quelle priorité par rapport à d'autres parcelles ?
- quel volume est potentiellement récoltable ?

NB : la notion de diagnostic sylvicole, action préalable à la réalisation d'une intervention, ne doit pas être confondue avec celle de suivi d'un phénomène, généralement réalisée à large échelle et s'inscrivant dans la durée (voir chapitre 5 " Suivi des phénomènes observés").

Diagnostic avant désignation des bois à récolter

Echelle : peuplement homogène ou unité de gestion.

Objectif :

- déterminer le volume récoltable (en m³) ou l'intensité de la coupe (en % de tiges ou de surface terrière (G)) concernant les tiges atteintes par le phénomène et ayant une valeur marchande ;
- localiser les atteintes principales aux peuplements forestiers ;
- identifier les enjeux locaux (écologiques, paysagers, sociaux...).

Attention ! En phase aiguë de crise, un diagnostic fournit une appréciation qui ne vaut que pour une durée limitée.

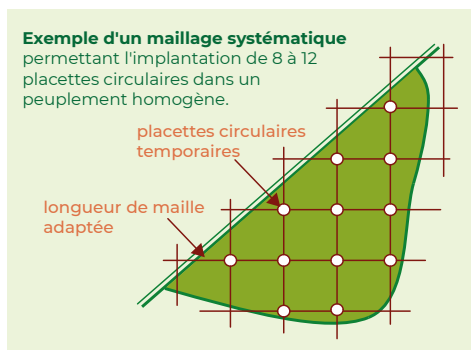
Type d'inventaire recommandé :

statistique, à l'aide de placettes circulaires temporaires, situées au nœud d'un maillage systématique, avec :

- implantation de 8 à 12 placettes pour un peuplement homogène (nombre de placettes qui peut être augmenté dans un objectif de cartographie) ;
- placettes comportant 10 à 12 arbres en moyenne ;
- surface et rayon des placettes (voir tableau et schéma ci-contre).

Surfaces et rayons de placettes de diagnostic

STADE	SURFACE (ares)	RAYON (m)
Perchis	1-2 ares	6-8 m
Jeune futaie	3-4 ares	9-11 m
Futaie adulte	5-10 ares	12-18 m



Résultats attendus

- G totale, G atteinte
(éventuellement par niveau de gravité)
- V total, V atteint
(éventuellement par niveau de gravité)
- % du nombre de tiges atteintes par essence
- Cartographie sommaire des dégâts par parcelle.

Martelage et commercialisation des bois

Cas des peuplements atteints par un phénomène sanitaire

Le plus souvent, les mesures de mobilisation et de commercialisation des bois ont un caractère d'urgence affirmé : la valeur économique des produits incite alors le propriétaire à rendre prioritaire cette récolte.

Quelles priorités affecter aux parcelles ?

Le rôle des diagnostics (télédétection, inventaires au sol) prend tout son sens pour répondre à cette question : généralement, le niveau de dégâts diagnostiqué permet d'établir les priorités et de se donner des règles d'intervention.

Attention ! Pour limiter certaines épidémies (Scolytes), la récolte optimale des bois se situe avant même l'apparition des mortalités d'arbres dans le paysage.

D'une manière générale, seront récoltés les peuplements :

- fortement atteints (plus de 20 % de tiges notablement² atteintes) de manière prioritaire ;
- moyennement atteints (10 à 20 % de tiges notablement² atteintes) en 2^{ème} priorité ;
- faiblement atteints (moins de 10 % de tiges notablement² atteintes) en 3^{ème} priorité (sauf très belles qualités des bois atteints), voire pas du tout (bois de faible valeur).

Ces taux peuvent être adaptés au contexte local, en fonction de critères variés : enjeux, valeur des bois, difficulté d'exploitation...

Quels arbres prélever prioritairement dans un peuplement fortement ou moyennement atteint ?

Le marquage d'un arbre (ou d'un groupe d'arbres) dans un contexte de crise sanitaire repose sur une analyse multiple. Ainsi, les tiges méritant d'être récoltées en priorité sont :

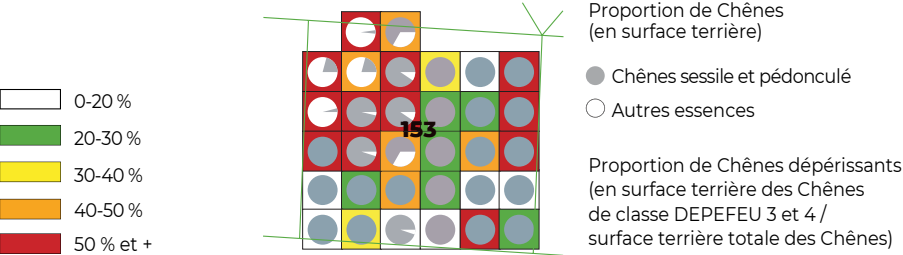
- les arbres (ou groupe d'arbres) dont la probabilité de mourir à court terme (1 à 2 années maximum) est forte. Pour appréhender la durée de survie des individus atteints, la mise en place d'un réseau de placettes de suivi d'arbres est précieuse (voir chapitre 5 "Suivi des phénomènes observés") ; un test de diagnostic de l'état physiologique des

2. La notion de "notablement" atteinte est variable suivant les phénomènes provoquant des crises sanitaires. Par exemple :

- pour les crises de dépérissement, les notations D, E, F du protocole DEPERIS peuvent être considérées comme telles ;
- pour des attaques de Scolytes, sont à considérer comme notablement atteintes les tiges présentant les signes de présence de larves sous l'écorce (perforation de l'écorce, sciure rousse dans l'écorce et au pied de l'arbre).

EXEMPLE DE DIAGNOSTIC
AVANT MARTELAGE

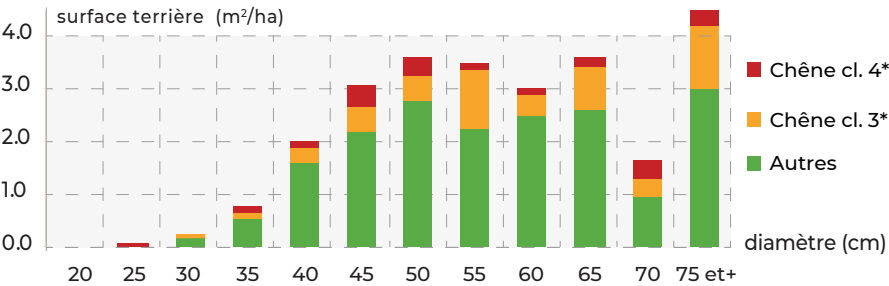
Forêt domaniale
de Vierzon parcelle 153 - 16 ha
(Maille : 0.50 ha)



SURFACE TERRIÈRE PAR ESSENCE ET PAR CLASSE DE DIAMÈTRE

Essences	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75et+	Total	%	
Chêne cl. 1					0,31	0,35	0,43	0,59	0,53	1,04	0,48	1,32	5,05	19 %	
Chêne cl. 2			0,07	0,12	0,43	0,84	1,60	0,82	1,59	1,24	0,36	1,69	8,76	34 %	
Chêne cl. 3*			0,04	0,09	0,31	0,50	0,49	1,11	0,44	0,83	0,36	1,20	5,38	21 %	29 %
Chêne cl. 4*		0,02		0,12	0,12	0,40	0,37	0,15	0,09	0,21	0,36	0,30	2,12	8 %	
Autres feuillus	0,01	0,02	0,07	0,06		0,05		0,07					0,28	1 %	
Autres résineux		0,02	0,07	0,39	0,86	0,94	0,74	0,74	0,35	0,31	0,12		4,54	17 %	
Total	0,01	0,05	0,24	0,78	2,04	3,08	3,62	3,49	3,00	3,63	1,68	4,51	26,14	100 %	

* Chêne cl. 3 et 4 : Chênes appartenant aux classes 3 et 4 de dépérissement (protocole DEPEFEU)
classe 3 = branches mortes composant plus de 50 % du houppier et/ou disparition de plus de 50 % de la ramification
classe 4 = arbre mort



Préconisations retenues

- Récolte de tous les pédonculés présents dans la parcelle, et seulement des pédonculés.
- Maintien systématique des Pins et Chênes sessiles qui peuvent constituer un capital reproducteur très précieux, même à l'état dispersé.
- Pas de « cueillette » des Chênes pédonculés dans les îlots de Chênes sessiles bien constitués : risque de déstabilisation du peuplement.
- Marquage de tous les bois d'œuvre, y compris les dépérissants non piqués ; les arbres piqués ne sont pas marqués.
- Distinction de la qualité « merrain ».

arbres peut être mobilisé dans le cas des Chênes pour évaluer leur probabilité de mourir à court terme³ ;

- les arbres jouant un rôle contaminant dans le peuplement (Scolytes, Gui, Nématode...).

Inversement, certaines tiges de sous-étage, bien qu'atteintes de dépérissement, peuvent mériter d'être conservées pour leur rôle structurant dans le peuplement.

Suivant les contextes, il est pertinent de récolter les tiges atteintes :

- soit par pied d'arbre : cas des dépérissements lents et diffus (suite à extrêmes climatiques, mauvaise adaptation essence/station, chenilles défoliatrices...) ;
- soit par bouquets : cas d'attaques de Scolytes, de colonisation de peuplements par le Gui.

Quelles précautions prendre en matière d'exploitation ?

Dans tous les cas, l'exploitabilité du peuplement doit être prise en compte :

- en situation de faible pente, il est indispensable d'implanter des cloisonnements d'exploitation pour protéger les sols (Pischedda, 2009) ;
- en situation de forte pente, donc d'exploitation difficile, la récolte par pied d'arbre cause des dégâts importants aux peuplements et génère des coûts élevés ; il est préférable de prélever les bois par bouquets et de créer des trouées ;
- en situation de sol sensible au tassement, veiller aux conditions d'exploitation pour préserver les sols (Pischedda et Helou 2017).

La sortie hors du massif forestier ou le broyage des bois abattus, dans des délais rapides⁴, s'impose quand ceux-ci présentent un risque de contamination de la forêt (ex. : Scolytes, Nématode).

Lors des martelages, faut-il prélever des tiges faiblement atteintes pour anticiper le développement de dégâts à venir ?

Pour limiter les risques financiers liés à la perte d'arbres de valeur économique, il peut sembler judicieux d'anticiper en prélevant des tiges peu atteintes lors du martelage, "au cas où" elles viendraient à dépérir rapidement après la coupe.

■ Intérêts :

- limitation du risque financier ;
- constitution de lots de bois importants, plus faciles à commercialiser.

■ Inconvénients :

- risque de déstructuration du peuplement par très fort prélèvement, cumulant la récolte de tiges atteintes et de tiges susceptibles de l'être ; stress important pour les tiges restantes et risque d'effet "boule de neige" pouvant conduire, au final, à une récolte totale du peuplement ;
- risque de perte de génotypes résistants et adaptés ;
- risque d'engorgement du marché.

Cette pratique ne doit être utilisée qu'après analyse des principales caractéristiques des peuplements ([voir tableau ci-dessous](#)).

3. INRAE – UMR SILVA ; contact : Nathalie Bréda.

4. La vidange des bois doit néanmoins tenir compte de la protection des sols, notamment en période de sensibilité au tassement. Référence : *Guide Pratic'sols*, Pischedda, Helou, 2017).

L'anticipation est possible dans les cas suivants :

Capital sur pied	Si le capital est élevé (l'anticipation corrigera en partie ou en totalité la surcapitalisation héritée).
Diamètre moyen	Si celui-ci est proche du diamètre d'exploitabilité.
Vitesse d'évolution du phénomène	Si les essences atteintes subissent des phénomènes à évolution rapide.
Contexte économique	Si le marché du bois est porteur et que les qualités récoltées trouvent aisément preneur.
Adaptation des essences	En cas d'inadaptation avérée des essences atteintes (pas de risque d'appauvrissement du patrimoine génétique local).

Quelques exemples :

- dans le cas d'attaques fortes de Scolytes évoluant rapidement, une anticipation peut permettre de sauver la valeur marchande d'un peuplement atteint par récolte totale (cas observé de peuplements arrivant à maturité et pouvant atteindre 50 ha dans le sud du Massif Central) ;
- dans le cas de peuplements de forte valeur (chêne de qualité), l'intérêt économique l'emportera souvent sur l'inconvénient de destructuration ; si le peuplement périlite, une récolte très forte sera conduite, suivie d'une reconstitution du peuplement forestier ;
- dans le cas de peuplements mélangés ou présentant du sous-étage indemne, il est souhaitable de préserver les essences non atteintes pour limiter la destructuration du peuplement forestier.

Pour mieux décider (anticiper ou non la récolte de bois non atteints), la mise en place d'un réseau de placettes de suivi d'arbres est très utile (voir chapitre 5 "Suivi des phénomènes observés") : elle permet de mieux connaître l'évolution probable de tiges suivant leur degré d'atteinte, et donc de décider la nécessité ou non d'anticiper.

À quelle périodicité réaliser des coupes sanitaires ?

Pour limiter les coûts d'intervention et le stress subi par les peuplements, mais aussi pour faciliter l'organisation des chantiers, il est indispensable d'éviter des passages trop rapprochés : une rotation de 3 ans⁵ sur une même parcelle est considérée comme un minimum, sauf dépérissements très rapides (pour ces peuplements une anticipation doit être envisagée : voir § précédent).



© ONF - X. Gauquelin

▲ Coupe d'Épicéas fortement scolytés : anticipation par récolte de grandes plages (Tarn).

5. Sauf risque de pullulation de parasites dont il faut contenir l'épidémie (Scolytes).

Comment anticiper la saturation des marchés locaux ?

Certaines crises conduisent à la mise en marché d'une très grande quantité de bois, conduisant rapidement à la saturation des marchés locaux ou régionaux, tant en bois d'œuvre qu'en bois d'industrie ou en bois-énergie.

La recherche de marchés extérieurs au périmètre de la crise, nationaux ou internationaux, permet de mener les opérations de récoltes dans de meilleures conditions économiques : cette action est également déterminante lorsque la sortie des bois contaminés est un levier important de résolution ou d'atténuation de la crise en cours (cas des Scolytes). Le financement des coûts de transport devient alors un enjeu central, à porter par la cellule de crise.

Cas des peuplements sains, inclus dans une zone plus large subissant des atteintes

Au sein de la zone géographique en crise sanitaire, certains peuplements peuvent rester indemnes. Ces peuplements, qui ont subi les mêmes contraintes climatiques ou biotiques à l'origine de la crise, sont moins vulnérables car bénéficiant de conditions écologiques très locales plus favorables, d'une sylviculture différente ou d'une capacité de réaction meilleure.

Faut-il poursuivre une gestion normale et appliquer la sylviculture habituelle ou bien adopter des mesures spécifiques ?

Risque à court terme : d'une manière générale, il est préférable de limiter les interventions (notamment coupes de bois)



© ONF - X. Gauquelin

▲ Haut-perchis de Chêne sessile nécessitant une éclaircie par le haut.

lors de la phase aiguë de crise ; en effet, les perturbations inhérentes à l'intervention peuvent enclencher une évolution négative d'un peuplement jusque-là épargné par le phénomène de dépérissement ou les attaques parasitaires.

S'il est jugé nécessaire d'intervenir, des précautions doivent alors être prises (ex. : dans un contexte de crise liée au typographe, ne pas exploiter de peuplements sains d'Épicéa en période estivale).

Risque à moyen terme : la gestion normale des peuplements forestiers doit reprendre dès que le risque à court terme est devenu moindre. En effet, en cas de rotation ajournée (6 à 15 ans), la capitalisation sur pied augmente progressivement le risque de retour de dépérissements ou de croissance perturbée des arbres forestiers. Il est donc nécessaire de redonner au peuplement, dès que possible, de bonnes conditions de croissance par des éclaircies dynamiques apportant lumière et meilleure économie en eau au sein des peuplements.

Travaux sylvicoles

Les techniques de reconstitution de peuplements, suite à une crise grave, ne sont pas développées dans ce guide : de très nombreux paramètres interviennent tels que choix d'essences et adaptation aux stations forestières en contexte climatique changeant, nature du renouvellement naturel/artificiel, recherche de mélanges, conduite de jeunes peuplements...

D'une manière générale, les recommandations formulées concernant la reconstitution des forêts après tempêtes (Mortier F., 2001 – Office national des forêts) peuvent inspirer les actions à mener concernant les travaux sylvicoles suite à des crises sanitaires. Il s'agit notamment de :

- raisonner l'intervention utile pour qu'elle soit minimale et au coût le plus juste ;
- utiliser au mieux les processus naturels et les optimiser ;
- maîtriser les ongulés et protéger les régénérations ;
- planter si nécessaire, respectant la meilleure adéquation stations-essences-provenances ; les documents⁶ "Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique" (ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2008) et « Conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières » fournissent des recommandations sur ce sujet ;

- suivre et évaluer les travaux de reconstitution pour corriger, le cas échéant, les itinéraires techniques mis en œuvre.

Gestion des ressources génétiques

Les impacts d'une crise sanitaire sur la diversité des ressources génétiques forestières sont multiples et pas toujours visibles immédiatement (ex. des dérèglements de la reproduction). Ils sont aussi complexes à évaluer dans la mesure où :

- ils résultent d'effets indirects via les impacts sur les processus démographiques,
- ils interagissent avec les effets des pratiques de gestion, y compris celles de la crise elle-même,
- ces effets portent à la fois à court-terme, sur la diversité génétique actuelle, et à long-terme, sur les processus d'évolution de cette diversité.

Quelques principes généraux peuvent être énoncés :

- distinguer l'enjeu local des ressources génétiques d'une forêt ou d'un massif en particulier, des enjeux à l'échelle plus globale d'un programme de conservation des ressources génétiques (national ou européen) : les questions, les solutions et les acteurs concernés ou à solliciter sont différents ;
- raisonner les effets sur le court-terme (état sanitaire du peuplement en place) et le long terme (diversité génétique des générations futures) : tout dépérissement n'est pas forcément négatif, cela dépend de son ampleur, l'adaptation génétique passe nécessairement par l'exposition aux aléas et la sélection naturelle ;

6. Documents disponibles sur Internet :
- <https://agriculture.gouv.fr/la-politique-nationale-de-conservation-des-ressources-genetiques-forestieres>
- <https://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers-conseils-dutilisation-des-provenances-et-varietes-forestieres>

- analyser les impacts des mesures de gestion mises en œuvre lors de la crise sur la diversité génétique ; ainsi l'élimination anticipative des arbres restés sains dans un peuplement naturel fortement touché peut être une perte de diversité intéressante (meilleure résistance génétique ?) ;
- s'attendre à des crises sanitaires « surprenantes » : quelques principes de précaution généraux pourront être proposés par la CRGF⁷, mais la plupart des actions devront être spécifiquement ajustées pour chaque situation. L'adoption d'une stratégie adaptative sera toujours indispensable.

Prise en compte de la biodiversité

Cas des zones sous statut de protection biologique

Les actions liées à la crise sanitaire prévues dans des terrains bénéficiant de statut de protection biologique doivent faire l'objet d'information et/ou de demandes auprès des instances consultatives, décisionnelles ou administratives (gestionnaire du site, comité consultatif, comité scientifique, services de l'État...). Les opérations à mener d'urgence, qui s'avèrent incompatibles avec les objectifs du site protégé, sont à examiner prioritairement avec ces instances⁸.

Cependant, les interventions liées à la crise peuvent souvent être menées en

cohérence avec les objectifs et actions courantes de conservation du milieu.

Cas des arbres maintenus pour la biodiversité

D'une manière générale, le maintien d'arbres disséminés pour la biodiversité⁹ peut être poursuivi lors des épisodes de crise sanitaire.

Seuls les arbres contaminants, porteurs de pathogènes ou parasites pouvant menacer le peuplement avoisinant, sont à extraire de la forêt (cas d'arbres infestés de Scolytes ou de Nématodes).

On estime que, deux années après sa mort, un arbre ne présente plus de risques contaminants vis-à-vis du peuplement qui l'entoure : son maintien au titre de la biodiversité est donc possible s'il ne menace pas la sécurité des personnes et des biens.

Cas des zones à enjeu social (accueil, paysage)

Les actions liées à la crise sanitaire doivent tenir compte des enjeux locaux sur les territoires à fréquentation importante du public.

Comme en gestion courante, les opérations de récolte programmées et les techniques mises en œuvre doivent être raisonnées de manière à intégrer au mieux ces enjeux. Les gestionnaires peuvent continuer à s'appuyer sur les documents techniques de référence existants (guides paysagers).

7. Travaux en cours (2020) de la Commission des ressources génétiques forestières (CRGF) : <https://agriculture.gouv.fr/la-politique-nationale-de-conservation-des-ressources-genetiques-forestieres>

8. À ce jour, dans les sites Natura 2000, toute coupe ayant un caractère d'urgence n'est pas soumise à évaluation d'incidence.

9. Pour les forêts relevant du régime forestier, une instruction de l'ONF fournit le cadre général concernant le maintien d'arbres pour la biodiversité (INS-18-T-97).

Des actions ciblées de communication doivent systématiquement être menées (voir chapitre 7 "Communication") tout au long de la durée de la crise sanitaire.

Parfois, certaines actions spécifiques visant à limiter la pénétration en forêt par le public doivent être décidées : ce sont les cas des crises pouvant affecter la santé humaine ou les cas d'insécurité notoire liée à la chute potentielle de branches mortes. Le rôle de la cellule de crise est primordial dans de telles prises de décision.

Anticiper la survenue d'une crise consécutive

Les crises sanitaires peuvent générer des risques naturels que la présence du couvert forestier, avant crise sanitaire, atténue ou masquait (voir fin du chapitre 1) : risques d'incendie de forêt, reprise de chutes de blocs, de départs d'avalanches, d'érosion de terrains sensibles ou de phénomènes dunaires...

Les interventions prévues dans le cadre de la gestion de la crise sanitaire devront, le cas échéant, intégrer ces risques associés suivant le contexte local. On peut citer les exemples suivants :

- traitement adapté des rémanents limitant le risque incendie en situation sensible ;
- en haute montagne, reboisement en collectifs sur terrain mis à découvert, en zone de départ potentiel d'avalanches menaçant des enjeux économiques ou humains ;
- maintien d'un couvert minimum, arbustif ou forestier, sur terrains sensibles aux phénomènes d'érosion.

CHAPITRE 7

La communication

**Communiquer :
une mission forte
de la cellule de crise**

Une communication organisée et structurée vers les services de l'État, les élus, les acteurs opérationnels de la crise et les interlocuteurs externes est nécessaire : c'est un des rôles importants de la cellule de crise et de son porte-parole (voir chapitre 3 "Partenariats").

Cette communication est à adapter à l'échelle des phénomènes observés : de l'échelle locale jusqu'à une échelle régionale ou nationale en cas de besoin.

L'information des propriétaires doit être assurée :

- concernant les collectivités, la charte de la forêt communale aborde spécifiquement les problèmes sanitaires (*article 9 : signalement par le gestionnaire dans le mois suivant la constatation des phénomènes observés*);
- concernant les propriétaires privés, le CNPF assure l'information via ses réseaux habituels.

La communication doit être relayée au sein des organismes impliqués pour que leurs collaborateurs soient informés de

l'évolution de la situation, des décisions prises et du rôle de chacun.

Les personnels des organismes publics ont sur ce sujet un devoir de réserve : ils doivent orienter les demandes d'informations sur la crise et sa gestion vers le porte-parole de la cellule de crise.

Vers qui communiquer ?

La communication s'adresse d'une part aux personnes susceptibles d'être touchées par les phénomènes en cours : les informations diffusées doivent leur permettre d'agir pour limiter, voire éviter les effets de la crise. Il faut éviter de propager des messages anxiogènes s'ils n'ajoutent rien à la capacité des personnes à réagir.

Mais la communication s'adresse d'autre part aux relais d'information (journaux, audiovisuel) pour assurer une diffusion la plus large possible sur le territoire géographique concerné.

**Communiquer
tout au long de la crise**

Les crises sanitaires s'inscrivent souvent dans la durée : la qualité de la commu-

nication à mettre en œuvre est à assurer tout au long de la crise.

Les messages doivent donc être adaptés aux différentes étapes du processus : en entrée, en cours et en sortie de crise. Ils doivent également être adaptés aux enjeux impactés par la crise : santé humaine, protection de personnes ou de biens, économie liée à la récolte de bois... Les spécialistes de ces enjeux sont à associer à l'élaboration des messages pour valider leur efficacité.

Les supports de communication externe peuvent varier, suivant l'ampleur de la crise, qu'elle ait un caractère local (communication possible par panneaux d'information en forêt ou dans les lieux publics - mairies, par concertation locale...) ou bien régional ou national, justifiant la sollicitation de grands médias d'information. Les sites web officiels (préfectures, mairies, interprofession...) peuvent utilement contribuer à cette communication.

La communication vers les acteurs opérationnels (techniciens de terrain, gestionnaires, exploitants et entrepreneurs...) permet de redonner cohérence et sens aux actions de chacun : préciser le rôle et la place des intervenants, briser le sentiment de solitude, coordonner les moyens disponibles, informer sur la stratégie retenue.

Une communication régulière doit faire apparaître que les autorités, experts et acteurs concernés agissent pour limiter, voire remédier à la crise en cours. La transparence sur les actions menées est de nature à rassurer. Les étapes clés de la crise doivent être bien marquées.

Une constante des crises sanitaires : l'incertitude sur l'avenir

Contrairement aux crises à caractère soudain, les crises sanitaires se développent sur des pas de temps qui se comptent en années. Les interrogations sur l'avenir sont donc particulièrement fortes et affectent aussi bien les professionnels forestiers que le grand public :

- la forêt va-t-elle disparaître ?
- une spirale négative (déperissements, mortalités, pullulation de parasites, mévente des bois...) se met-elle irrémédiablement en place ?
- les changements climatiques vont-ils accélérer les phénomènes en cours ?

Face à ces questionnements, partagés par de nombreux acteurs, il convient d'apporter des réponses s'appuyant sur la connaissance scientifique existante et/ou sur le programme d'actions mis en place dans le cadre de la cellule de crise pour comprendre, résoudre et affronter les difficultés générées par la situation.



▲ Communication en forêt.

CHAPITRE 8

La sortie de crise sanitaire

Quand décider la fin de crise ?

Le suivi de certains indicateurs, en entrée de crise et tout au long des événements, permet de tracer l'évolution du phénomène. Ce sont essentiellement :

- le taux de produits accidentels récoltés ;
- le nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion ;
- le taux d'échec des régénérations et plantations ;
- l'expertise de personnes référentes.

La fin d'une crise peut être prononcée lorsqu'un nouvel équilibre semble être obtenu, qu'il soit (voir figure) :

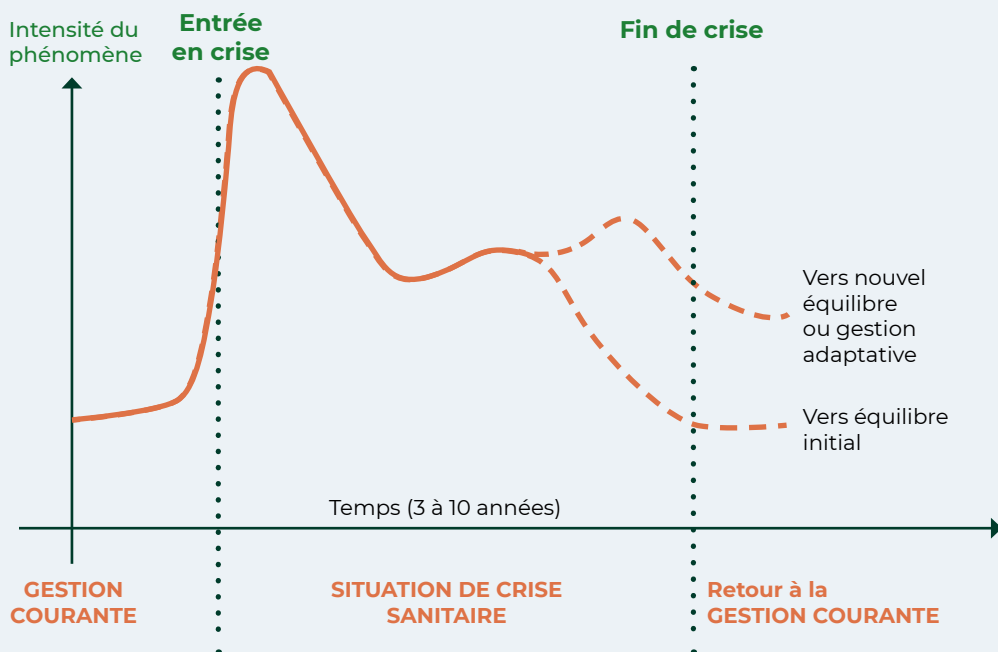
- analogue à l'équilibre avant crise,

Exemples : retour à une récolte marginale de bois résineux scolytés après quelques années de forte infestation, maladie du Hêtre dans les Ardennes,

- différent de l'équilibre avant crise, mais apparemment stable dans le temps,

Exemples : mortalité due au Gui dans une zone nouvellement infestée, Puceron lanigère sur peuplier,

SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU DÉROULEMENT D'UNE CRISE SANITAIRE



GESTION ADAPTATIVE

Processus de planification, de mise en œuvre et d'amendement de stratégies nouvelles, par approximations successives, permettant de gérer les ressources en intégrant le contexte durable d'incertitude et de changement. La gestion adaptative consiste à ajuster les méthodes employées en fonction des effets et des changements observés que subit un système, qui découlent des effets de rétroaction résultants et d'autres variables (Glossaire GIEC, Agard et al. 2014).

- consécutif à la mise en place d'une gestion adaptative intégrant les connaissances acquises au cours de la crise.

Exemples : *maladie des bandes rouges, chalarose du Frêne, processionnaire du Chêne en Lorraine.*

La fin de la crise est prononcée par la même autorité qui a décidé en son temps de l'entrée en crise.

Quelles actions à mener en fin de crise ?

L'étape de sortie de crise est trop souvent négligée alors qu'elle a un rôle d'apprentissage collectif à froid et constitue un moment fort de communication. Plusieurs actions sont à mener.

- Le responsable de la cellule de crise informe les membres de la cellule de la fin de l'épisode de crise sanitaire.
- L'animateur de la cellule de crise organise le retour d'expérience de l'ensemble des actions menées : il associe notamment les responsables opérationnels des différents organismes engagés. Le retour d'expérience peut proposer un ou des plans d'action pour apporter des solutions aux éventuels dysfonctionnements soulignés. Un modèle de document figure en **annexe 3** : il a vocation à être archivé sur le long terme pour servir la gestion de futures crises.

- Le responsable de la cellule informe les acteurs de la fin de crise (premier temps) puis leur fait part des principaux enseignements qui en ont été tirés (second temps). Il est important de "marquer" cette fin de crise : c'est l'occasion d'affirmer le retour à une situation normale et de remercier les intervenants qui ont contribué à sa gestion (acteurs de terrain, institutions, filière, experts et scientifiques).

- Analyser les besoins en recherche-développement pour :

- acquérir de nouvelles connaissances scientifiques sur les causes et le déroulement des phénomènes biologiques concernés ;
- améliorer les stratégies opérationnelles à mener dans le cas, futur, de crises analogues.

Le lecteur pourra aussi consulter la fiche réflexe relative au retour d'expérience du Plan national de gestion de crise tempête pour la filière forêt-bois (MAA, 2018).

Faut-il revoir les documents de gestion ?

Chaque document de gestion (aménagement, plan simple de gestion) doit faire l'objet d'un diagnostic pour évaluer la nécessité ou non de modifier ou de réviser les objectifs et programmes d'actions (**voir chapitre 6 "Actions opérationnelles"**).

FICHES DE CAS

FICHES DE CAS

1 Le dépérissement du Chêne
en forêt de Vierzon

P.51



2 Le dépérissement en forêt
domaniale de la Harth et
création d'un observatoire

P.61



3 Le dépérissement des Chênes
en plaine de la Woèvre
et sur le Plateau Lorrain

P.69

4 La « maladie du Hêtre »
en Ardenne belge

P.76



5 Le dépérissement de Chêne
et de Hêtre en forêts de
Compiègne, Laigue et Chantilly

P.85

6 La chalarose du Frêne en France,
exemple du Nord
et du Pas-de-Calais

P.93

7 Le Puceron lanigère sur Peuplier
(*Phloeomyzus passerinii*)

P.101



8 Le dépérissement des résineux
dans le Tarn et l'Aveyron,
suite à la sécheresse
et canicule de 2003

P.108



9 Le dépérissement du Sapin
pectiné dans les Alpes du Sud

P.116

10 La maladie des bandes rouges
sur Pin laricio

P.124

11 Les Scolytes de l'Épicéa
en forêt privée
de Franche-Comté

P.132



12 Le Nématode du Pin au Portugal

P.140



FICHE N°1

Le dépérissement du Chêne en forêt de Vierzon

La forêt de Vierzon est une forêt domaniale ancienne de 5 300 ha, au sud de la Sologne. Installée sur sols hydromorphes acides, elle est composée à 63 % de Chêne, dont 60 % de Chêne sessile et 40 % de Chêne pédonculé, répartis par plages ou bouquets en fonction de la microtopographie, mais dont la proportion et la localisation restaient approximatives jusqu'à ce que des diagnostics récents (2007/2008/2009) permettent de le préciser. La part de Chêne pédonculé est en partie liée à l'histoire de cette forêt dont près de 2 000 ha étaient à l'état de landes jusqu'en 1 850, qu'il a conquises (naturellement, par semis ou plantation) pour partie.

Rédacteur : Myriam Legay et Xavier Mandret (ONF)

Contact : myriam.legay@agroparistech.fr et xavier.mandret@onf.fr

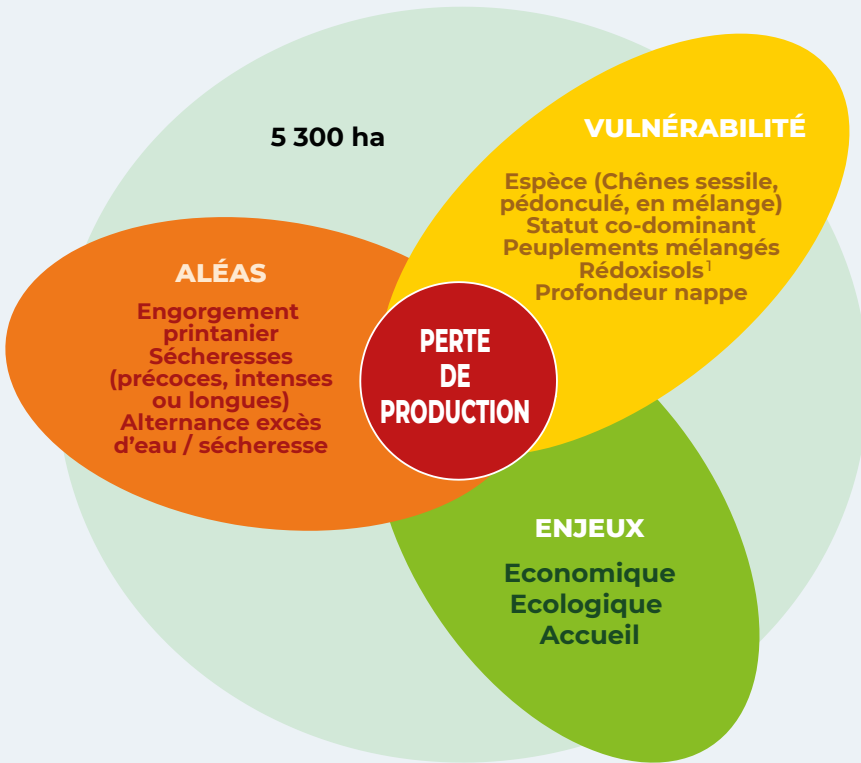
On y observe en particulier la présence de Chênes pédonculés tardifs, débourrant plusieurs semaines après les plus précoces. L'origine de cette tardiveté n'est pas à ce jour élucidée, mais ces individus semblent localisés dans les zones les plus tardivement engorgées. Malgré ces conditions de sol contraignantes, la forêt, gérée en futaie régulière et en conversion des taillis sous futaie en futaie, peut fournir du bois d'œuvre de Chêne de qualité et de bonnes dimensions, recherché par

les acheteurs de merrain. Cependant ces conditions écologiques difficiles la prédisposent à des dépérissements, qui touchent régulièrement et depuis le début du XX^e siècle, les Chênes pédonculés, en particulier tardifs (Molleveaux 1926) : 1908 (gel intense), 1920 (défoliateurs et oïdium), 1921, 1940 et 1982 (sécheresses). À partir de 1950, des difficultés récurrentes ont impacté la mise en œuvre des plans de gestion successifs (Richer de Forges, 1977).

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Dépérissement du chêne en forêt de Vierzon : schéma récapitulatif

- ☐ Crise déclarée
- ☒ Cellule de crise
- ☐ Sortie de crise
- ☐ Retour à l'équilibre
- ☒ Aménagements modifiés



- Mobilisation expérimentale d'outils de télédétection (dont photos aériennes)
- Programme de recher (DRYADE)
- Mise en place de placettes semi-permanentes
- Réflexions autour de la gestion de crise



- Retard à la déclaration d'entrée en crise (massif à dépérissements récurrents)
- Arrêt de suivi des indicateurs avant objectivation de sortie de crise («sentiment» de sortie de crise)

1. Sols dans lesquels un horizon hydromorphe avec taches ocre ou grises ou décoloration totale apparaît avant 50 cm de profondeur.

Les facteurs déclenchants ; les indicateurs d'entrée en crise

Depuis l'an 2000, ces dépérissements ont atteint une ampleur nouvelle. D'après les observations des gestionnaires, le phénomène a touché d'abord les pédonculés tardifs, puis l'ensemble des pédonculés, avant de s'étendre aux sessiles. Il se traduit par une mortalité rapide des arbres atteints. Si les peuplements vieillis sont les plus touchés (et les plus surveillés compte tenu des enjeux économiques afférents), aucune classe d'âge n'est épargnée. L'état de crise est ressenti lorsque les prélèvements sanitaires à l'échelle de la parcelle excèdent les prélèvements normaux en amélioration et que les modalités habituelles de

gestion ne permettent plus de faire face au phénomène.

Ce nouvel épisode de dépérissement particulièrement violent n'a pu être relié à aucun facteur déclenchant évident, mais à l'époque l'accumulation des accidents biotiques et climatiques au cours des décennies 1990 et 2000 a été invoquée : fortes attaques d'oïdium en 1998 et 1999, déstabilisation des arbres par la tempête de 1999, épisodes de sécheresse répétés (1996, 1998, 2005), excès d'eau printanier (2000, 2001), grêle (fin 2005)... La contribution de l'oïdium, déjà évoquée par Molleveux en 1926, est envisagée en particulier pour expliquer la vulnérabilité du Chêne tardif, dont la première pousse serait atteinte par le champignon.



© DSF/Louis-Michel Nageleisen

Figure 1 : Vue d'une parcelle de Chênes très affectée en forêt de Vierzon sans aucune intervention de récolte.

Figure 2 : Évolution du déficit foliaire des houppiers des Chênes sessiles de la placette RENECOFOR CHS_18 en FD de Vierzon.

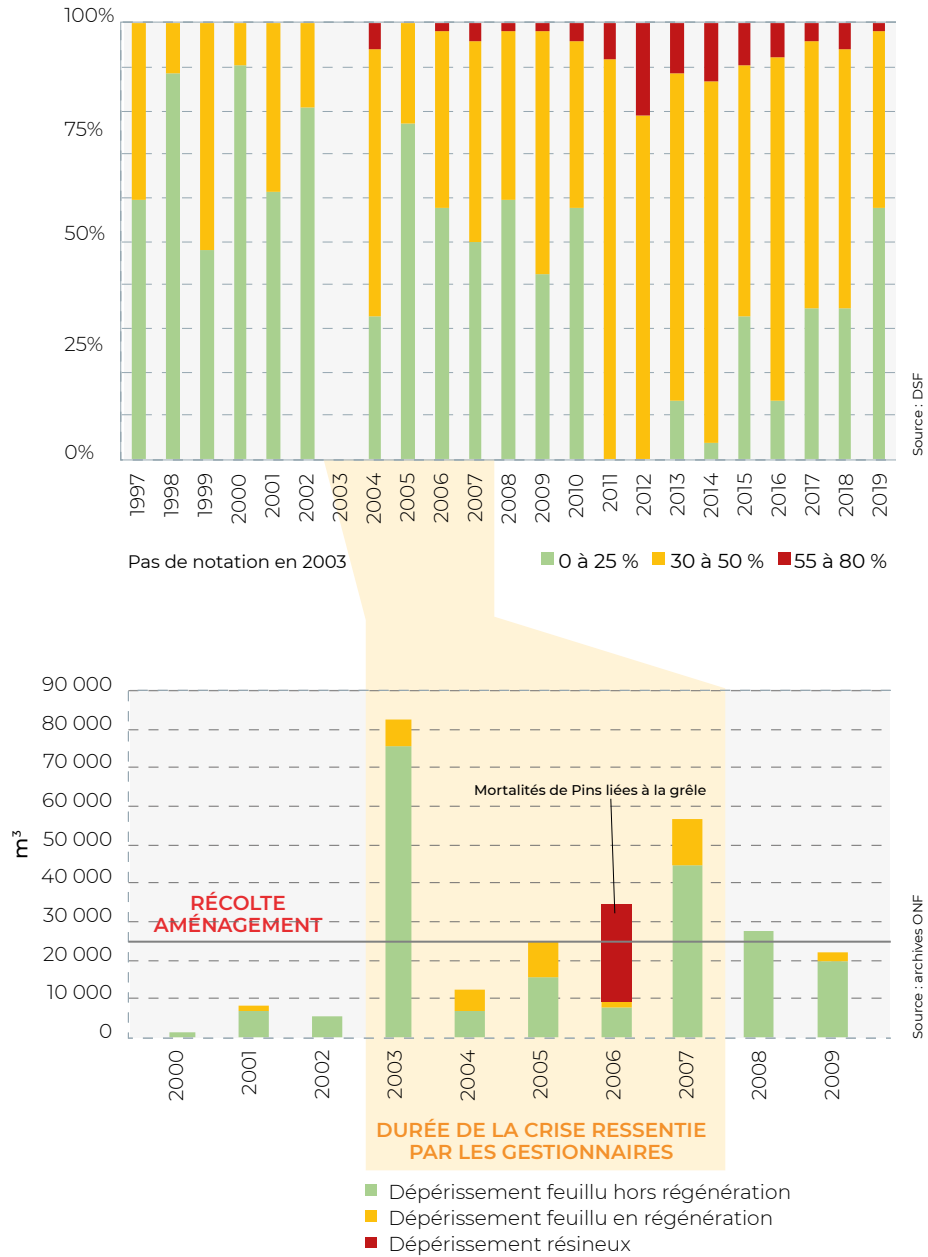


Figure 3 : Évolution du volume des récoltes d'arbres liées au dépérissement, et comparaison au niveau de récolte fixé par l'aménagement.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Sans objet.
Expertise de personnes référentes	Alerte du Département de la santé des forêts.
Taux de produits accidentels récoltés	Dépasse 50 % de la récolte aménagement à partir de 2003 pour atteindre 99 % sur l'ensemble de la période 2000-2009.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	Non connu.
Extension géographique	Le dépérissement intense semble concerner essentiellement les massifs de Vierzon et Vouzeron.
Proportion du capital sur pied atteint	D'après un échantillonnage réalisé en 2008, 60% du capital sur pied en chênaie adulte atteindrait ou dépasserait le stade DEPEFEU 3.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers	Des sols très pauvres, à alternance hydrique, très contraignants, notamment pour le Chêne pédonculé.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	-

Les critères de fin de crise en 2009 (voir chapitre 8)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	Fin 2009, il reste très supérieur à 50 % de la possibilité aménagement.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à un plan simple de gestion	Non connu.
Retour à un nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré-crise	L'équilibre nouveau, pas encore atteint en 2009, sera nécessairement différent, notamment en termes de proportion occupée par les espèces (très forte diminution de la population de pédonculés).

La gestion de la crise sanitaire (voir p. 56-57)

naître, ce qui a retardé la mise en place d'une gestion adaptée.

Bilan général en 2010

Le retour d'expérience établi en 2010 met en évidence les points suivants :

- Dans cette forêt soumise à des dépérissements récurrents, le diagnostic de crise a été long et difficile à recon-

- Les gestionnaires ont eu le sentiment que les récoltes des arbres atteints aggravaient l'état des arbres restants. Des doutes subsistent sur l'impact des prélèvements répétés sur l'évolution du phénomène : le tassement induit par la circulation des engins, ou encore les

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	
1998 Première alerte	Alerte donnée par un agent correspondant-observateur du DSF, mais le diagnostic de crise n'est pas encore posé par les gestionnaires.	
2000 Mise en place d'un dispositif de suivi	Premier compte-rendu DSF. Mise en place d'un réseau de placettes permanente de suivi : mort en un an des arbres classés en DEPEFEU 3.	
1999-2002 Exploitations au fil de l'eau	Gestion du phénomène de dépérissement au jour le jour : les arbres dépérissants sont récoltés au moment des passages en coupes, à leur tour normal prévu à l'aménagement.	
Hiver 2002 Exploitations systématiques selon critère DEPEFEU	Premier plan de gestion du phénomène : récolte systématique des arbres en classe 3 et + selon le protocole DEPEFEU, à l'avancement, dans les parcelles considérées dépérissantes à gros bois ; formation accélérée de renfort de martelage : 75 000 m ³ martelés (entraînant culmination des récoltes en 2003 : voir figure 3).	
Été 2003 Photo aérienne	Commande d'une photographie aérienne infrarouge fausses couleurs pour enregistrer l'ampleur spatiale du phénomène.	
2003 Modification de l'aménagement	Modification de l'aménagement pour la période 2004-2010 : prise en compte des dégâts de la tempête de 1999, suspension des ouvertures en régénération, dynamisation de la sylviculture.	
2003-2006 Exploitations	Retour à une gestion locale du dépérissement au jour le jour (<i>id.</i> période 1999/2002) bien que le dépérissement semble partout se poursuivre, et même s'aggraver dans les parcelles déjà purgées en 2003 notamment.	
2006 Mise en place d'une gestion de crise	Plan de gestion de crise par l'agence et la direction territoriale : ■ mise en place d'une cellule de crise, ■ renforts extérieurs apportés à l'unité territoriale, ■ diagnostics en feuille avant martelage, ■ martelages estivaux pour prélever les seuls Chênes pédonculés ou en coupes rases à partir de 30 % d'arbres DEPEFEU 3 et +, ■ nouvelles modalités de commercialisation. Atteintes aux Chênes sessiles : Tournée DSF (août 2007) signalant des colorations anormales et mortalités. Mise en œuvre des premières reconstitutions.	
2006 Réflexions en vue du projet DRYADE	Intégration du cas de Vierzon dans le projet de recherche ANR DRYADE (Vulnérabilité des arbres aux accidents climatiques).	
2007 Sortie de crise ?	Inventaires statistiques terrain pour diagnostic de l'état sanitaire (400 placettes), avec compléments DRYADE (1 ^{ère} année) sur 166 de ces placettes.	
2008 Amélioration visible du phénomène	L'état des Chênes commence à s'améliorer : le gros de la crise semble passé. Poursuite des diagnostics par inventaire statistique. DRYADE, année 2 : acquisition de données de télédétection, couplée avec la mise en place de placettes vérité terrain : ■ image satellitale Ikonos (août 2008) pour la caractérisation du dépérissement, ■ photos aériennes infra-rouge fausses couleurs pour le suivi du débourrement (3 survols entre avril et juin 2008).	
2009 Révision de l'aménagement	Mise en chantier de la révision d'aménagement. DRYADE, année 3 : campagne de prélèvement de carottes de bois pour étude rétrospective de la croissance des arbres et datation de la crise de croissance.	
2009-2010 Recherche	Poursuite du projet DRYADE : ses conclusions ont été livrées en septembre 2011.	

ACTEURS	DIFFICULTÉS RENCONTRÉES
DSF	Difficultés importantes du CO DSF à convaincre ses collègues et sa hiérarchie du bien-fondé des observations, de l'ampleur du phénomène et <i>a fortiori</i> des décisions à envisager.
DSF - ONF	
ONF	
ONF	Les gestionnaires sortent du cadre de l'aménagement forestier, et ont le sentiment d'être dépassés par le phénomène. De nombreuses critiques externes s'expriment, et contribuent au malaise ressenti par les gestionnaires.
ONF	Prestation IGN.
ONF	Manque d'outils pour caractériser et spatialiser facilement l'état des peuplements.
ONF	Suractivité de l'unité territoriale : inadéquation temporaire entre effectif disponible et tâches à réaliser (éclaircies en hiver ; récoltes des arbres dépérissants l'été). Problèmes humains associés : accidents de travail, irritabilité et fatigue des personnels.
ONF - DSF	Création, adaptation et appropriation des nouveaux outils, consignes de martelage et d'exploitation. Activité demeurant importante malgré les renforts, liée à la mise en place systématique de cloisonnements en période de martelage. Poursuite de la formation des personnes appelées en renfort de martelage.
INRA - ONF - DSF	
INRA - ONF - DSF	Sentiment de fin de crise : le phénomène est pour la première fois quantifié et cantonné, des consignes claires de gestion sont établies.
ONF - INRA - DSF	
ONF - INRA	
INRA - ONF - DSF	

perturbations du régime hydrique (liés à la diminution de consommation d'eau par les arbres mais aussi par les tassements), pourraient avoir un effet négatif sur la santé des arbres restants. C'est une question importante, à laquelle certaines études ou expérimentations entreprises apporteront peut-être des réponses. L'analyse de la pertinence des actions menées devra être réexaminée à la lumière de ces éventuels résultats.

- Lorsque les premières études ont été entreprises pour comprendre le phénomène, les exploitations avaient prélevé les arbres atteints les premiers. Il faut s'efforcer de préserver dès le début du phénomène les archives nécessaires à son analyse ultérieure. À ce titre, l'initiative de commander une photographie aérienne durant l'été 2003 était judicieuse.
- La mise en œuvre efficace de la récolte des arbres dépérissants peut conduire à perdre la vision de l'évolution des peuplements atteints hors exploitation : le maintien de quelques îlots ou parcelles non exploités permet de mieux comprendre le comportement des peuplements sous forte contrainte.
- Dès qu'une rémission s'est amorcée, l'analyse du phénomène a perdu beaucoup d'intérêt aux yeux des gestionnaires, accaparés par le retour à la gestion courante : le temps de la gestion n'est pas celui de la recherche, et c'est l'une des difficultés pour le suivi à moyen terme de ces phénomènes complexes. Ainsi, la révision en 2010 de l'aménagement forestier (pour 20 ans)

a été entreprise avant de bénéficier des résultats de DRYADE, en particulier identification des facteurs de vulnérabilité (espèce, âge, station, mélange) et anomalies de bilan hydrique (précocité des sécheresses, alternance engorgement/sécheresse). Ce nouvel aménagement (2011-2030) mentionne 1 185 ha « à problème sanitaire grave » et crée un « groupe d'amélioration sanitaire » regroupant les parcelles à avenir incertain.

Le point début 2020 : la crise se poursuit sous d'autres formes

Contrairement à la conclusion de la fiche de 2010, la rémission annoncée ne s'est pas produite et la sortie de crise n'a pas eu lieu.

Outre la persistance des facteurs de vulnérabilité qui impactent de manière durable la physiologie des Chênes restant vivants, de nouveaux aléas climatiques sont survenus. Les principaux sont les sécheresses de 2011, 2015, 2018 et 2019, les épisodes de canicules 2018 et 2019 ainsi que les engorgements des printemps 2015 et 2016 et de l'été de 2014. Dans ces sols à engorgement temporaire, ces alternances de contraintes excès/déficit hydrique ont été identifiées lors de DRYADE comme majeures dans l'induction des dépérissements passés.

En conséquence, la surface de Chênes est passée (sur les 5 300 ha de la forêt domaniale) de 4 100 ha en 1991 à 3 340 ha en 2019, caractérisée par une nette réduction du capital sur pied et par un état sanitaire préoccupant.

Outre la poursuite et l'importance des dépérissements dans les peuplements adultes, les tentatives de régénération de

Chênes se traduisent généralement par des échecs massifs : non développement des semis et colonisation de la strate herbacée par la Molinie et la Fougère aigle. Sur les 739 ha prévus en régénération naturelle de Chêne par l'aménagement 2011-2030, seulement 60 ha paraissent réalisables fin 2019.

Face à cette situation, l'aménagement de 2011 basé sur l'hypothèse d'une sortie de crise a fait l'objet d'un modificatif en 2018 ; il a concerné principalement des parcelles en amélioration : le volume mobilisable passe de 13 325 m³/an à 1 955 m³/an (dont 1 036 m³/an pour le Chêne).

Finalement, environ 500 ha de Pins sylvestre et maritime sont déjà venus à ce jour remplacer les chênaies dépérissantes avec des améliorations apportées notamment pour les préparations très délicates de ces types de sols dans l'objectif de limiter les regarnis. Les enrésinements sont amenés à significativement s'amplifier.

Un nouvel état des lieux de l'état sanitaire de la chênaie a été mis en œuvre au printemps 2018 grâce à un échantillon aléatoire de 43 placettes de 20 arbres. La méthode de l'échantillonnage « bord de route » et du protocole DEPERIS ont permis de dresser une cartographie rapide de l'état du massif en 2 jours à 4 personnes. On y note que le Chêne pédonculé continue de dépérir plus que le sessile (figure 6). Sur le plan cartographique, les dépérissements se concentrent autour des zones historiquement concernées par le sujet, sur les stations les plus vulnérables (alternance hydrique). Les effets de lisière constitués par les fortes coupes à l'échelle



© ONF Myriam Legay

Figure 4 : Vue d'une parcelle très atteinte, en juin 2008.



© ONF Myriam Legay

Figure 5 : Tournée en juin 2008 avec Nathalie Bréda, coordinatrice du projet DRYADE.

de parcelles (en particulier coupes de régénération) affectent notablement les parcelles voisines, sur des surfaces importantes.

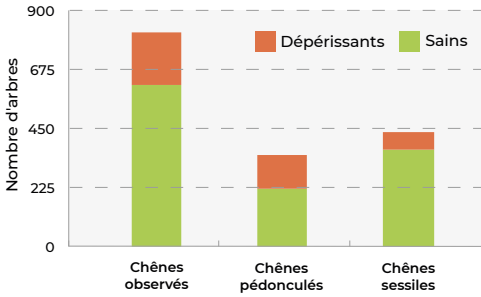


Figure 6 : Répartition des Chênes sains et dépérissants lors de l'inventaire de 2018.

Une extrapolation des données relevées "bord de route" a été menée par l'université d'Orléans grâce aux images satellitaires de Sentinel 2 de la même période. Les

observations de terrain ont pour moitié servi de données d'apprentissage et pour l'autre moitié de données de vérification. Elle a permis de produire la carte ci-dessous, considérée par le service de terrain comme reflétant fidèlement la situation.

En conclusion, il apparaît que la forêt de Vierzon est en 2020 toujours en crise sanitaire et que sa composition s'oriente inéluctablement vers une part croissante des résineux.

Face à cette situation instable, il a été décidé de faire un bilan d'application de l'aménagement tous les 5 ans pour adapter au mieux la gestion à l'évolution de la situation.

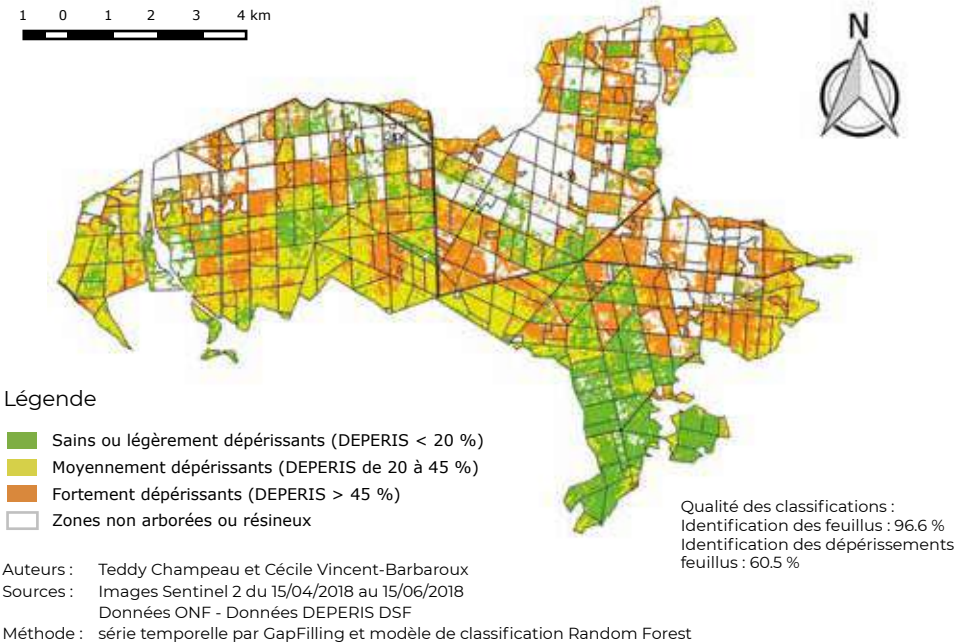


Figure 7 : Classification des dépérissements en feuillus - Forêt domaniale de Vierzon Printemps 2018.



FICHE N°2

Le dépérissement en forêt domaniale de la Harth et création d'un observatoire

Située au sud de la plaine d'Alsace, la forêt domaniale de la Harth est un ancien taillis-sous-futaie de Chênes, de Charme et de Tilleul qui couvre plus de 13 000 hectares. Ce massif présente une position géographique particulière qui amplifie les effets de conditions climatiques difficiles sur les peuplements forestiers.

Rédacteur : Cécile Coli (ONF), Louis-Michel Nageleisen (DSF/MAA) et Nathalie Bréda (INRAE)
Contact : nathalie.breda@inrae.fr

La barrière montagneuse vosgienne à l'est et, dans une moindre mesure, celle du Jura au sud, créent un effet dit d'**ombre climatique** sur la plaine d'Alsace. Celle-ci connaît donc un climat continental marqué (forte amplitude thermique annuelle) avec des gelées tardives fréquentes et surtout une pluviométrie très faible. Les précipitations atteignent un niveau particulièrement faible au nord du massif forestier qui reçoit seulement en moyenne 580 mm/an contre 780 mm/an au sud. La « poche de sécheresse de Colmar », zone la plus sèche de France (520 mm/an), n'est qu'à 20 kilomètres plus au nord.

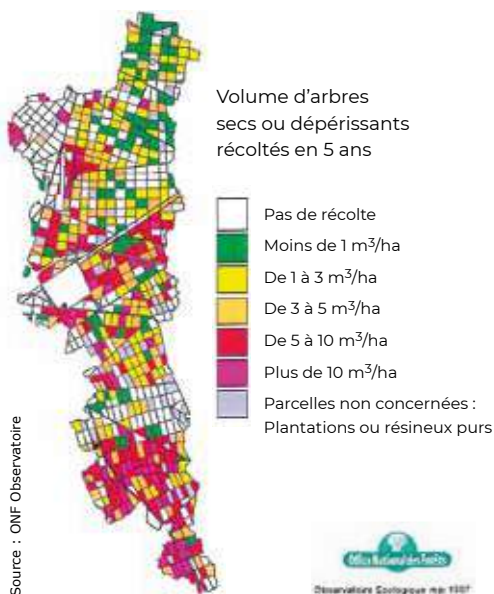
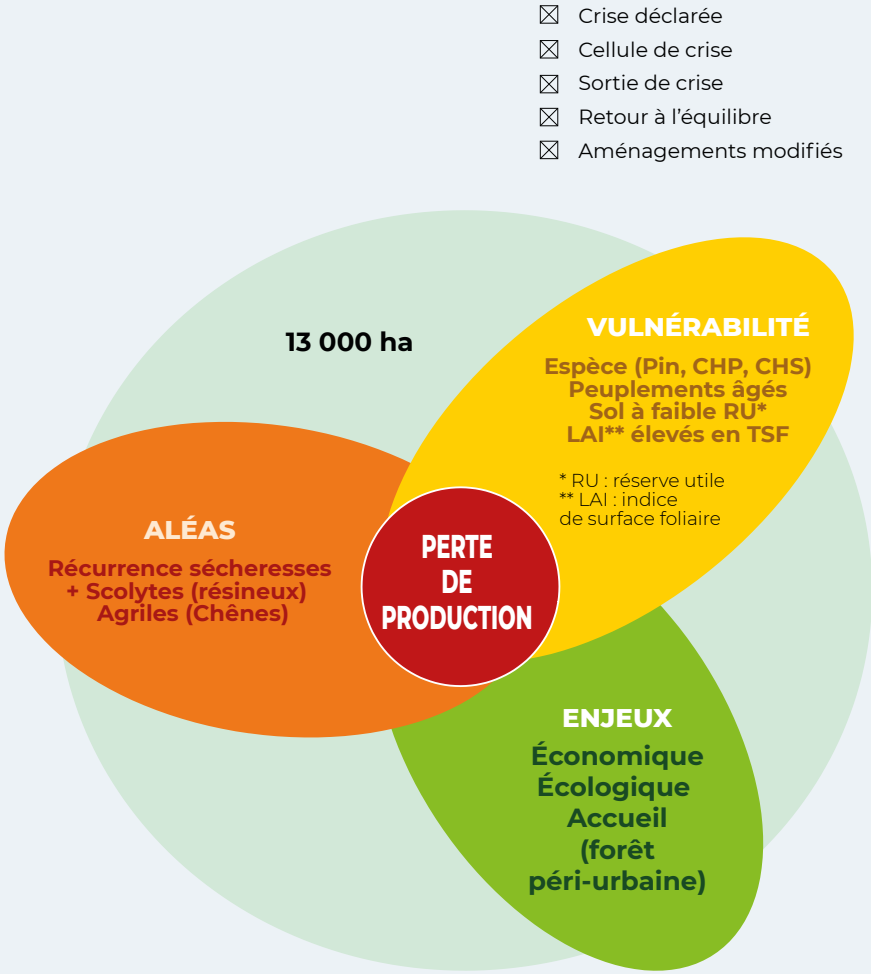


Figure 1 : Forêt domaniale de la Harth. Volumes de bois feuillus secs ou dépérissants commercialisés entre 1992 et 1996.

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Dépérissement en forêt domaniale de la Harth 1989-2010



- Mise en place observatoire écologique de la Harth (ONF-DSF)
- Programme de recherche franco-allemand puis DRYADE
- Conception d'un aménagement expérimental



- Partenariat incomplet (crise ONF)
- Arrêt de suivi de l'observatoire en 2001, avant reprise en 2003 (nouvelle crise)

Mais la forêt de la Harth présente d'autres facteurs naturels de vulnérabilité pouvant aggraver les effets d'une sécheresse :

- un sol à faibles réserves en eau (épaisse couche filtrante de galets alluviaux rhénans, terre fine à texture sableuse),
- une absence de réseau hydrographique naturel,
- une nappe phréatique à 10-15 m de profondeur, hors d'atteinte des arbres.

Les facteurs déclenchants ; les indicateurs d'entrée en crise

Dès 1989, année de sécheresse sévère, des dépérissements de Pins sylvestres mettent en alerte le Département de la santé des forêts (DSF) nouvellement créé. L'année suivante, Chênes et Charmes commencent à présenter des signes de dépérissement notamment dans la partie nord de la forêt.

Mais, c'est principalement en 1991 que l'inquiétude s'installe chez les forestiers : au cours de l'été **particulièrement sec et chaud**, après deux années de sécheresse déjà marquée, les Charmes et dans une moindre mesure les Chênes, voient leurs feuilles flétrir précocement puis roussir et tomber dès le mois d'août. Au cours de l'automne, de très nombreux suintements sur les Chênes sont causés par des attaques massives d'Agriles (coléoptères sous-corticaux, buprestidés).

Des mortalités très importantes (Charmes, Chênes, autres essences) se manifestent au cours de l'hiver. Le gestionnaire prend des mesures drastiques pour limiter l'impact économique du phénomène : arrêt de l'aménagement en cours, martelage sanitaire sur l'ensemble de la forêt, exploitation rapide des bois infestés d'insectes sous-corticaux...

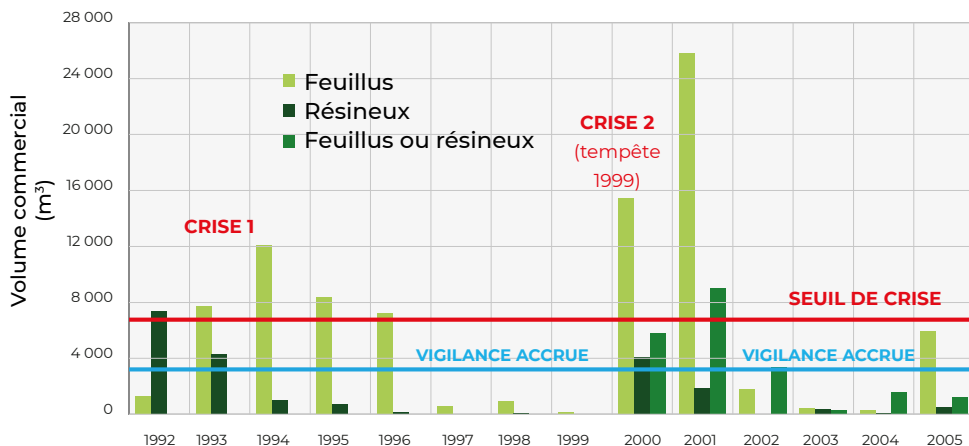


Figure 2 : Récolte de bois secs et dépérissants entre 1992 et 2005 (volume commercialisé). Le seuil de vigilance accrue (20 % de produits accidentels, ligne rouge) a été dépassé en résineux en 1992 puis en feuillus de 1993 à 1996.

Nota : Les chiffres 2000-2002 représentent quasi exclusivement des chablis de la tempête de 1999. Les volumes 2003-2005 de feuillus (Chêne essentiellement) sont largement sous-évalués par rapport à la réalité du dépérissement car ils ne tiennent pas compte :

- des nombreux Charmes secs non commercialisés, estimés à au moins 10 000 m³/an,
- des tiges dépérissantes, à des degrés divers, prélevées lors des martelages classiques et non spécifiquement comptabilisées,
- des parcelles qui ne sont pas encore passées en coupe.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Sans objet.
Expertise de personnes référentes	Expertises DSF.
Taux de produits accidentels récoltés	1992-1996 : 35 000 m ³ de bois feuillus (volume commercial bord de route ; voir figure 2).
Extension géographique	Échelle d'un massif de 13 000 ha (figure 1).
Proportion du capital sur pied atteint	A été étudiée : de 5 à 35 % de la surface terrière
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers	Étudiée au cours de la crise en collaboration avec la recherche.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Impacts modérés.

Les critères de fin de crise (voir chapitre 8)

La fin de crise est datée par le gestionnaire en 1997. Elle s'appuie sur différents critères (voir tableau ci-dessous).

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	1997-1999 : 1 700 m ³ soit 11 % de l'accroissement du massif.
Expertise de personnels référents	CO notateurs du réseau amélioration des notes DEPEFEU.
Retour à un nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré-crise	Analogue

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
1989	■ Mise en place du réseau de correspondants-observateurs : premières observations de dépérissement (Pin sylvestre, Chêne pédonculé et Chêne rouge).	DSF
1990	■ Le dépérissement s'accroît (Pin sylvestre et Chêne pédonculé) : tournées d'investigation et information du gestionnaire.	DSF
1991	■ Récolte importante des Pins attaqués par <i>Sphaeropsis</i> .	ONF
1992	■ Le dépérissement s'amplifie. ■ Plusieurs tournées de diagnostics. ■ Mise en place de 2 placettes pour suivre l'évolution des Chênes dépérissants.	DSF
	Prise de conscience du problème par le gestionnaire local : ■ Inquiétude ; première alerte vers la hiérarchie régionale ; ■ Décisions prises : arrêt des coupes normales, récolte des Chênes très dépérissants ou morts ; ■ Arrêt de l'application de l'aménagement.	ONF

1993	■ Idem 1992 : gestion locale de la crise. ■ Article de synthèse sur les dépérissements en plaine d'Alsace.	ONF DSF
1994	■ Tournée de la direction générale ONF débouchant sur la création de l'Observatoire de la Harth.	ONF
1995-2000	■ Mise en place d'un programme d'études et recherches pour comprendre le dépérissement ; financement par des fonds européens Interreg.	ONF, universités, INRA...
	■ Mise en place et suivi d'un réseau de 100 placettes (systématique, maille carrée de 1 km, 20 tiges par placettes) : notation estivale. ■ Dépérissement et suivi printanier des causes de dommages. ■ Étude télédétection photographie aérienne.	ONF DSF
1996-2000	■ Aménagement forestier expérimental, adapté au contexte instable dû à la crise sanitaire.	ONF
1997	■ Fin des récoltes exceptionnelles de dépérissants ; reprise des coupes normales.	ONF
1999-2000	■ Édition des rapports d'étude. ■ Communication - publications.	ONF et partenaires
2000	■ Révision de l'aménagement.	ONF
2000	■ Fin de l'Observatoire, animateur d'études ; mise en œuvre opérationnelle des recommandations de la recherche (martelage en feuilles ; distinction sessile – pédonculé, intensification des éclaircies) ; pas d'évaluation des résultats.	ONF
2001	■ Arrêt des observations sur le réseau de 100 placettes.	ONF
2000-2008	■ Suivis et observation sur un sous-échantillon de placettes.	INRA
2003	■ Sécheresse-canicule : symptômes estivaux violents. Mobilisation INRA pour réaliser la notation des Chênes sur les 100 placettes ; recherches initiées sur des indicateurs physiologiques pronostic sur ce réseau.	INRA
2004-2009	■ Reprise des notations des 100 placettes sur financement. Ministère de l'agriculture-DSF.	DSF
2006-2010	■ Programme de recherche DRYADE prenant en compte la Harth comme forêt modèle en pédo-climat sec.	INRA
2010	■ Arrêt définitif de l'Observatoire de la Harth et abandon du réseau de placettes.	

Bilan général en 2010

De 1990 à 1995, la récolte de Pin sylvestre dépérissant dépasse¹ 13 000 m³.

De 1992 à 1999, près de 40 000 m³ de feuillus, essentiellement des Chênes, sont récoltés.

En moyenne, la mortalité du Chêne représente 10 % de sa surface terrière. Les charmes, sous forme essentiellement de brins de taillis, morts sur pied au cours de cette période, n'ont pratiquement pas été récoltés.

1. Il s'agit de volumes commercialisés ; le volume réel dépérissant est très supérieur.

Les surfaces fortement impactées (à reconstituer) par cette phase de dépérissement n'ont pas été évaluées précisément. L'aménagement transitoire de 1996 fait cependant état de plus de 1 000 ha à régénérer.

L'Observatoire Écologique de la Harth avait deux missions :

- mettre en place un réseau de placettes permanentes pour suivre le phénomène ;
- coordonner des recherches pluridisciplinaires pour comprendre le processus de dépérissement et anticiper les conséquences d'un prochain événement similaire.

Il a pleinement joué son rôle de 1994 à 2000 et rempli ses objectifs. L'analyse pluridisciplinaire du dépérissement a été permise grâce au rôle de coordination de l'observatoire et aux moyens spécifiques mobilisés notamment par un programme européen Interreg. De nombreux rapports et publications synthétisent l'ensemble des résultats.

La conclusion essentielle de ces études est que le dépérissement a été induit par

une succession de sécheresses de 1989 (la plus intense des 30 dernières années) à 1992 ; ces aléas climatiques ont été amplifiés par les sols à faible réserve utile et des indices foliaires des peuplements très élevés. La croissance radiale a été plus affectée pour le Chêne pédonculé que chez le sessile, et les pertes de croissance ont été plus fortes dans le nord du massif. La forte proportion de Chêne pédonculé sur les placettes de l'observatoire (40 %) est liée à la gestion passée mais cette essence n'est pas adaptée à ce contexte sec (Bréda et Peiffer, 1999).

Après la phase d'étude, le dispositif de suivi mis en place pour « documenter la prochaine crise » a été suspendu par l'ONF : la crise qui a succédé (sécheresse-canicule de 2003) n'a pu être étudiée que partiellement grâce à la reprise des notations des arbres de l'observatoire de 2004 à 2009 par le DSF et la participation de l'INRA dans le programme ANR DRYADE. Le rôle de « forêt modèle » que pourrait avoir la forêt de la Harth au plan national dans le cadre du suivi du changement climatique n'a pas été rempli lors de cette crise.



© DSF/Louis-Michel Nagelsén

Figure 3 : Chênes dépérissants en forêt domaniale de la Harth.

Chronologie et gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
2016	Rougissemments de Pins sylvestres, apparitions de nombreux gourmands dans les perchis de Chênes.	
2017	Dépérissements de Pins sylvestres bien visibles, présence de <i>Sphaeropsis</i> confirmé. Les Pins n'ayant pas été récoltés par prudence en 2016 sont définitivement morts. Récolte des peuplements de Pins sylvestres rougissants avant le bleuissement et la dépréciation du bois, pour environ 2 500 m ³ . Dépérissement du Charme.	ONF
2018	Récolte de 6 000 m ³ de Pin sylvestre, présence massive de Scolytes et autres parasites secondaires non identifiés précisément. Dépérissement massif du Charme quel que soit son diamètre, non récolté. Les Chênes conservent leurs feuilles durant l'hiver. Forte glandée.	ONF
2019	Récolte de 27 000 m ³ de Pin sylvestre. Grosses difficultés du gestionnaire à récolter ces bois compte tenu de la charte Natura 2000 excluant l'exploitation des bois du 15 mars au 15 juillet. Le dépérissement massif du Charme se poursuit. Nombreuses descentes de cime dans les Chênes, et mortalité totale sur environ 2 à 5 % des Chênes, y compris de jeunes futaies dans le sud du massif. Présence d'Agrile. Dépérissement à 75 % de certains jeunes peuplements d'Érable plane d'une trentaine d'années dans le sud du massif avec présence de <i>Fusarium avenaceum</i> . Tournée ONF-INRA-DSF (septembre 2019) pour évaluer les acquis/ non acquis des expériences passées en terme de gestion de crise.	ONF

Eu égard aux taux de récoltes d'arbres secs et dépérissants, les seuils de crise sont à nouveau dépassés en Pin sylvestre, sans toutefois qu'une nouvelle crise sanitaire n'ait été déclarée. Apparue depuis 2016 suite à trois années de sécheresse d'intensité record, la crise devrait être de plus grande ampleur que la précédente. C'est pourquoi suite à une tournée le 11 septembre 2019 entre l'ONF, l'INRA et le DSF, il est proposé de repasser sur l'ensemble des placettes de l'observatoire pour actualiser les inventaires et les états sanitaires. Ceci permettra d'objectiver l'état sanitaire des Chênes et de déclarer le cas échéant une crise. La forêt de la Harth, déjà évoquée lors de la crise des années 1990 comme un modèle démonstratif des problématiques que devraient rencontrer d'autres forêts d'ici quelques années, devrait rejoindre les forêts pilotes du changement climatique.

Le point début 2020

Les années 2015, 2016, 2018 font partie des 10 années à plus fort déficit hydrique enregistrées dans cette forêt, 2018 en tête (calculs de bilan hydrique Biljou®, INRA), avec des intensités bien supérieures à celles ayant induit les dépérissements des années 1990 et 2000-2006. Les connaissances acquises permettent donc d'anticiper une nouvelle crise dans ce massif soumis à des épisodes récurrents de dépérissements avec mortalité. Mais force est de constater que les expériences passées n'ont à ce jour pas été utilisées pour observer et quantifier le phénomène.

Le scénario des années 90 se répète depuis 2016 mais de manière plus prononcée sur le Pin sylvestre.

La récolte sanitaire de Pin sylvestre s'élève à 35 500 m³ sur 3 ans (2017-2019). Avec une surface en production de cette essence de 1 000 ha, une production de 7 m³/ha/an, le seuil de crise est de 1 400 m³/an de produits accidentels. Sur la période 2017-2019, la récolte annuelle de produits accidentels est donc de l'ordre de 8 à 9 fois le seuil de crise. Par rapport aux années 90, la récolte des Chênes présentant des signes de dépérissement est encore faible mais non objectivée en 2019. Ces essences sont également moins présentes et le service gestionnaire s'efforce de ne pas récolter s'il n'y a pas un risque réel de mortalité. Le massif doit être placé en 2020 en vigilance accrue afin de pronostiquer si le dépérissement du Chêne va s'aggraver ou au contraire se stabiliser.

Eu égard aux taux de récoltes d'arbres secs et dépérissants, les seuils de crise sont à nouveau dépassés en Pin sylvestre, sans toutefois qu'une nouvelle crise sanitaire n'ait été déclarée. Apparue depuis 2016 suite à trois années de sécheresse d'intensité record, la crise devrait être de plus grande ampleur que la précédente. C'est pourquoi suite à une tournée le 11 septembre 2019 entre l'ONF, l'INRA et le DSF, il est proposé de repasser sur l'ensemble des placettes de l'observatoire pour actualiser les inventaires et les états sanitaires. Ceci permettra d'objectiver l'état sanitaire des Chênes et de déclarer le cas échéant une crise. La forêt de la Harth, déjà évoquée lors de la crise des années 1990 comme un modèle démonstratif des problématiques que devraient rencontrer d'autres forêts d'ici quelques années, devrait rejoindre les forêts pilotes du changement climatique.



Odile Maugeot © ONF

Figure 4 : Dépérissement de Pin sylvestre en forêt domaniale de la Harth, février 2019.

FICHE N°3

Le dépérissement des Chênes en plaine de la Woèvre et sur le Plateau Lorrain

Les forêts de la plaine de la Woèvre et du Plateau Lorrain couvrent respectivement 40 000 et 121 500 ha. Les peuplements sont essentiellement des chênaies-charmaies. Il s'agit principalement d'anciens taillis-sous-futaie où le Chêne pédonculé est majoritaire en raison du caractère hydromorphe des stations. Depuis les années 2000, deux périodes de dépérissement des chênaies ont été constatées en forêt publique. La dernière a fait l'objet d'une déclaration de crise (2012) qui est toujours en cours. Une collaboration avec le Département de la santé des forêts (DSF) du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et avec la recherche (INRA) a permis d'analyser les aléas et facteurs de vulnérabilités impliqués dans ces dépérissements qui pourraient se reproduire dans les prochaines années (Nageleisen et *al.*, 2013).

Rédacteur : Louise Brunier (CNPFP)

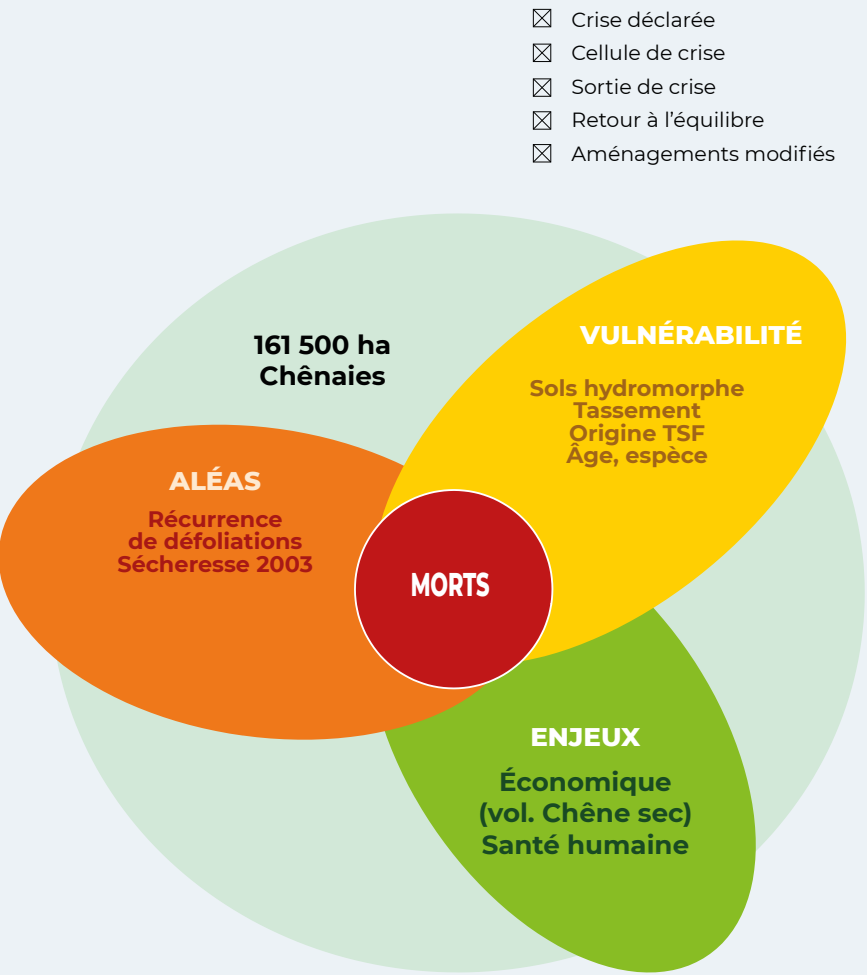
Contact : hubert.schmuck@onf.fr et edouard.jacomet@onf.fr

Suite à la canicule et à la sécheresse de 2003 concomitantes avec des défoliations par la processionnaire du Chêne dès 2002, un premier phénomène de dépérissement est constaté dans les chênaies de la plaine de la Woèvre et du Plateau Lorrain. Ces

dépérissements sont importants jusqu'en 2008 en forêt publique. En 2009 et 2010, des défoliations de grande ampleur sont à nouveau constatées et les dépérissements reprennent en 2011 (**figure 1**). Certains arbres récupèrent tandis que d'autres

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Dépérissement des Chênes en plaine de la Woëvre et sur le Plateau Lorrain



- Collaboration ONF-DSF-INRAE
- Suivi dans la durée des indicateurs
- Effort protection du sol
- 10 aménagements de crise



- Méconnaissance
Chêne sessile/Chêne pédonculé
- Coordination et communication
interne à améliorer

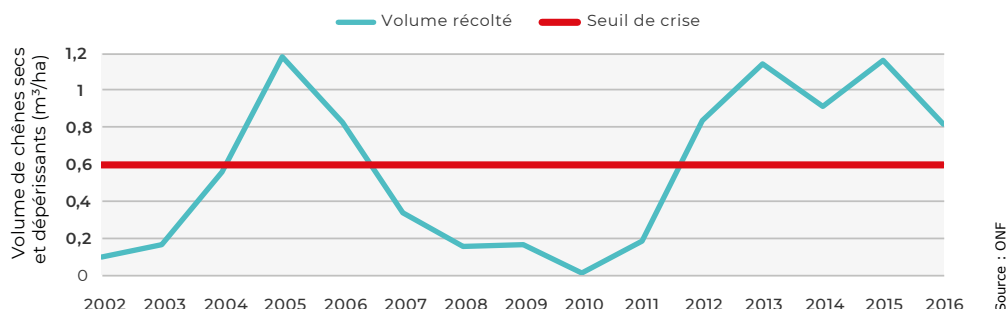


Figure 1 : Volume de Chênes secs et dépérissants récoltés (par rapport à la surface totale du massif de Sarrebourg). Période 2002 -2016 par année d'état d'assiette des coupes.

sèchent sur place. En forêt privée, il y a eu peu de signalements.

Une crise sanitaire est déclarée par l'ONF en 2012.

Les facteurs déclenchants

Les causes de ces dépérissements n'étaient au départ pas bien déterminées. Un réseau de placettes semi-permanentes a été mis en place pour mieux comprendre et suivre ces phénomènes. Le programme de recherche DRYADE¹ (2007-2010) et une étude dendrochronologique (Bréda et Gérard, 2016) ont permis de montrer que les dépérissements sont liés à la conjonction ou succession de deux types d'aléas.

■ Aléas climatiques sur des stations vulnérables

Les peuplements les plus atteints se trouvent sur des sols avec un plancher argileux superficiel limitant la réserve en eau utile des sols, subissant une double

contrainte hydrique : un engorgement printanier et une sécheresse estivale sévère et longue.

■ Successions d'aléas biotiques

Les peuplements sont régulièrement infestés par des chenilles défoliatrices (Tordeuses, Bombyx, Processionnaire...). Ces études ont montré que la réduction de croissance était proportionnelle à l'intensité des défoliations cumulées (notations de printemps et d'été). La sévérité des dégâts s'est accompagnée d'une réduction des réserves carbonées, signant un affaiblissement physiologique des Chênes pouvant compromettre leur résilience entre les gradations.

L'espèce est le premier facteur de vulnérabilité : le Chêne pédonculé est plus sensible au déficit hydrique, plus sévèrement défeuillé et plus sensible à l'oïdium que le Chêne sessile ; il est le premier à dépérir. La dendrochronologie a montré que les crises de 2003 et 2011 ne sont pas les premières traversées par ces chênaies (Breda, comm pers) : 3 autres crises ont eu lieu entre 1950 et 2003 (figure 2). Ces crises ne peuvent pas s'expliquer entièrement par le climat : on sait que les chenilles dé-

1. DRYADE « Vulnérabilité des forêts face aux changements climatiques : de l'arbre aux aires bioclimatiques », projet de recherche coordonné par l'INRA (N. Bréda, 12 partenaires) de 2007 à 2010, financé par l'ANR dans le cadre de son programme Vulnérabilité des Milieux et des Sociétés.

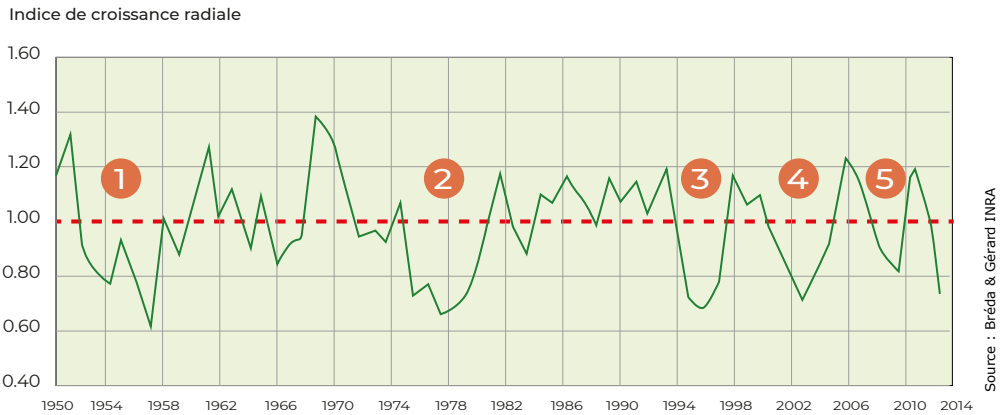


Figure 2 : Courbe représentant l'indice de croissance radiale issue de l'étude dendrochronologique réalisée dans le Pays des Étangs (Moselle, Plateau Lorrain) sur 546 Chênes. La courbe permet de dater et quantifier 5 crises de croissance (indice de croissance inférieur pendant plusieurs années à la normale figurée par la ligne pointillée rouge à 1).

foliatrices étaient également présentes. Les facteurs déclenchants de ces crises sont donc aussi bien climatiques (exacerbées sur les stations les plus difficiles) que biotiques (à localisation imprévisible). De

plus, des parasites de faiblesses (en particulier les Agriles) peuvent accélérer le processus et entraîner la mort du Chêne : il peut être utile de savoir détecter leur présence.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Expertise de personnes référentes	Alerte par les personnels de terrain de l'ONF et par le DSF.
Taux de produits accidentels récoltés	Dépasse 20 % de la récolte annuelle totale entre 2003 et 2008, puis entre 2011 et 2014, pouvant dépasser 50 % localement.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	Crise de faible ampleur en forêt privée : quelques coupes d'urgences ont été demandées mais représentant des volumes ponctuellement importants.
Extension géographique	Établissement d'une carte des Unités Territoriales de l'ONF concernées.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	Sols très contraignants en particulier pour le pédonculé : plancher argileux superficiel avec alternance engorgement/sécheresse. Âges très avancés des Chênes.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Limités : pas de difficulté de valorisation des produits pour le Chêne.
Atteinte à la santé humaine	Présence de Chenilles processionnaires provoquant des urtications.

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

La crise n'est pas considérée comme terminée en 2019. Les valeurs des critères indiqués dans le tableau suivant sont celles au moment de la réédition de ce guide.

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	En forêt publique, sur 4 unités territoriales, le taux de Chênes dépérissants récoltés reste compris entre 15 et 25 % en 2017, 2018 et 2019.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à un plan simple de gestion	Les occurrences de signalement de dépérissement sont très faibles.
Expertise de personnels référents	Recherche scientifique : déficits hydriques de 2018 et 2019 et nouvelle gradation de Chenilles processionnaires (2018), principales causes des dépérissements, semblent indiquer que la crise n'est pas terminée.
Retour à nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré crise	Probablement un nouvel équilibre intégrant la récurrence de crises sanitaires.

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
Automne 2003 Premiers symptômes	Constat des dépérissements.	ONF, DSF
2006 Regroupement de certaines forêts touchées	Regroupement sous un même aménagement de 4 forêts très touchées sur l'Agence ONF de Sarrebourg pour permettre une gestion plus souple.	ONF
2007 Début du programme de recherche ANR DRYADE	Le massif des Étangs sur l'Agence ONF de Sarrebourg est désigné « forêt pilote ».	INRA, ONF, DSF
2008 Retour à une gestion courante	Les volumes récoltés de Chênes dépérissants diminuent (en dessous du seuil de crise sanitaire tel qu'il sera défini en 2010). Retour à la gestion courante.	ONF
2009-2010 Défoliations	Constat et cartographie d'importantes défoliations.	ONF, DSF
Printemps 2009 Mise en place de placettes de suivi	Mise en place de placettes semi-permanentes.	ONF, DSF, INRA
Automne 2011 Reprise des dépérissements	Reprise des dépérissements et des récoltes de produits accidentels.	ONF, DSF
2011 Début de l'étude dendroécologique	Réalisation d'une étude dendroécologique pour 1) homogénéiser et former les agents ONF à l'identification des sols, 2) dater le processus de dépérissement et comprendre ses causes.	INRA

Mars 2012 Déclaration de crise	Déclaration de crise en interne ONF.	ONF
Mars 2012 Mise en place d'une cellule de crise	Première réunion de la cellule de crise. Un plan d'actions prioritaires est mis en place.	ONF, DRAAF, DSF, URCOFOR ² , GIPEBLOR ³
Avril 2012 Communication externe	Rédaction d'un communiqué de presse.	ONF
Mai 2012 Communication interne	Diffusion d'une plaquette « 6 questions/réponses » en interne ONF.	ONF
Automne 2012 Suivi des récoltes sanitaires	Mise en place d'un dispositif permettant de suivre la récolte des arbres pour des raisons sanitaires à des échelles variables.	ONF
2012-2014 Mise en place d'actions ayant pour objectif la protection des sols	Mise en place d'une cartographie de la sensibilité des sols au tassement, d'un suivi de la qualité des exploitations, diffusion d'un guide « Gérer les exploitations et préserver les sols », définition d'un plan d'actions.	ONF
Novembre 2013 Modification des directives nationales en matière d'aménagement	Adoption de dispositions complémentaires aux DNAG et ONAG ⁴ en matière d'adaptation des aménagements des forêts en crise sanitaire.	ONF
2014 Réunion cellule de crise	Deuxième et dernière réunion de la cellule de crise.	ONF, DRAAF, DSF, URCOFOR, GIPEBLOR
2012 - 2015 Expérimentation pour le renouvellement	Intégration du concept de tests en gestion – îlots d'avenir (2012) et mise en œuvre dans les aménagements forestiers (2015).	ONF
2014 - 2019	Pour la forêt publique lorraine, 10 aménagements de forêts en crise sanitaire, totalisant environ 660 ha, ont été adaptés en application des DNAG et ONAG modifiées.	ONF

2. Union régionale des communes forestières de Lorraine.

3. Groupe interprofessionnel de promotion du bois en Lorraine.

4. Annexe 7 des Directives nationales d'aménagement et de gestion (DNAG) et des orientations nationales d'aménagement et de gestion (ONAG).

Bilan général

Les deux périodes de dépérissement ont touché une majorité des chênaies en forêt publique de la plaine de la Woëvre et du Plateau Lorrain. Si ces dé-

périssements ont diminué en 2017-2018, les volumes sanitaires actuellement récoltés indiquent que l'on se trouve encore dans une situation de vigilance accrue.

Une collaboration exemplaire entre l'ONF, le DSF et la Recherche a permis de mieux comprendre les causes multiples des dépérissements constatés. Ces deux phases de dépérissements successifs sont en fait les deux dernières d'une série de 5 épisodes retracés et interprétés par dendrochronologie depuis 1950. Ces épisodes se succèdent avec des phases de récupération de plus en plus courtes, et ces éléments vont dans le sens d'une intégration de la gestion de crise à la gestion courante des chênaies de cette région. Jusqu'à présent, un bon suivi des volumes de produits accidentels a permis de repérer les entrées et sorties de crise. La compréhension des causes du dépérissement permet de construire une stratégie durable de gestion de ces crises successives.

Points positifs

- Bonne collaboration entre l'ONF, le DSF et la Recherche.
- Mise en place d'un réseau de placettes semi-permanentes suivi dans la durée.
- Mise en place d'un système de suivi précis de la récolte sanitaire, disponible au niveau national.
- Élaboration de procédures d'aménagement adaptées au cas des crises sanitaires : aménagement de crise, modification ou prorogation d'aménagement (généralisées dans les directives nationales).
- Mise en place d'un dispositif permettant de préserver les sols tout en réalisant les récoltes de bois secs et dépérissants.

Perspectives d'amélioration

- Mieux assurer le suivi de la crise dans le temps : faire le point sur les indicateurs régulièrement et assurer une communication autour de la situation de crise.



Louise Brunier © CNPF

Figure 3 : Peuplement fortement atteint où seuls les charmes sont encore vivants.

- Améliorer la coordination de la crise pour permettre une meilleure communication et un échange de bonnes pratiques entre les différentes agences et au cours des crises successives.
- Sensibiliser les opérateurs de terrain pour harmoniser la saisie des volumes sanitaires.
- Associer de manière plus systématique les acteurs de la forêt privée, même si la crise y est moins importante ou moins signalée.
- Mieux différencier le Chêne sessile du Chêne pédonculé dans les actions de gestion pour favoriser le sessile, plus résistant à la sécheresse.



Romaric Pierrel © DSF

Figure 4 : Réunion multi-acteurs en forêt de Réding (Moselle, 2019) pour établir un bilan de la crise.



FICHE N°4

La « maladie du Hêtre » en Ardenne belge

En Wallonie, le Hêtre est la 2^e essence feuillue. Il est abondant sur près de 70 000 ha, soit 13 % de la forêt, souvent en futaie plus ou moins pure ou en mélange avec les Chênes. Il se trouve essentiellement en Ardenne, sur des sols acides et dans un climat frais et arrosé (hêtraies à luzule). Les hêtraies sont majoritairement des propriétés publiques (communes et région), gérées par le DNF (Département de la nature et des forêts).

*Rédacteur : Olivier Huart (Département de la nature et des forêts, région Wallonie),
Hugues Claessens (Gembloux Agro-Bio Tech) et Louis-Michel Nageleisen (DSF)
Contact : hugues.claessens@uliege.be*

À partir de l'automne 1999, les forestiers d'Ardenne et de Lorraine belges, ont observé une fréquence anormale de décollements d'écorce et de champignons en hauteur sur les troncs, puis des bris de gros Hêtres, cassés à la base du houppier. En mai 2000, des abattages ciblés ont mis en évidence des zones de nécrose corticale, sièges d'intenses attaques d'insectes xylophages et départs de pourriture interne du tronc difficile à détecter de l'extérieur (Rondeux *et al.*, 2002). Les arbres étaient irrémédiablement condamnés et le seul enjeu a été de les récolter dès le début

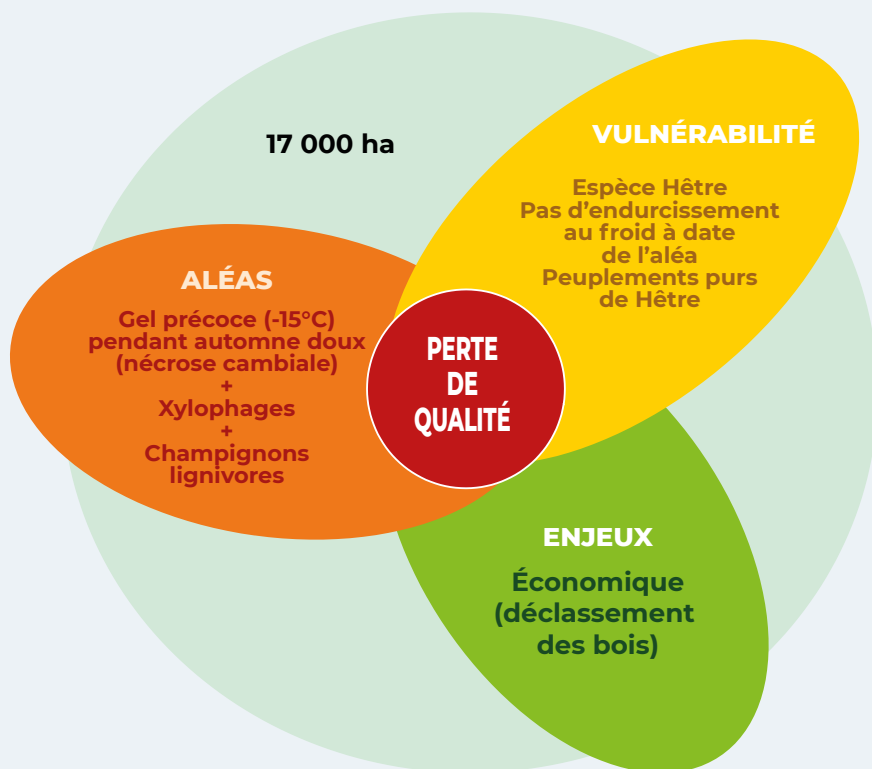
de l'attaque afin d'encore récupérer du bois valorisable sur la grume : l'impact financier et psychologique a été important. De surcroît, cette crise est venue s'ajouter à celle du marché du bois qui a suivi la tempête de 1999.

L'année 2001, sommet de la crise, se révèle catastrophique et inquiétante par la généralisation d'attaques de Scolytes. En 2001 et 2002, un suivi spécifique de la situation en hêtraie, par des campagnes de mesure des placettes de Hêtre de l'Inventaire forestier régional (collaboration

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Maladie du Hêtre en Ardenne belge en 1998-1999

- ☒ Crise déclarée
- ☒ Cellule de crise
- ☒ Sortie de crise
- ☒ Retour à l'équilibre
- ☐ Aménagements modifiés



- Dispositif de suivi du phénomène
- Programme recherche multidisciplinaire avec compréhension du phénomène
- Recommandations sylvicoles pour les peuplements perturbés par la crise
- Formation des gestionnaires



- Récoltes précipitées ayant entraîné une dégradation des sols

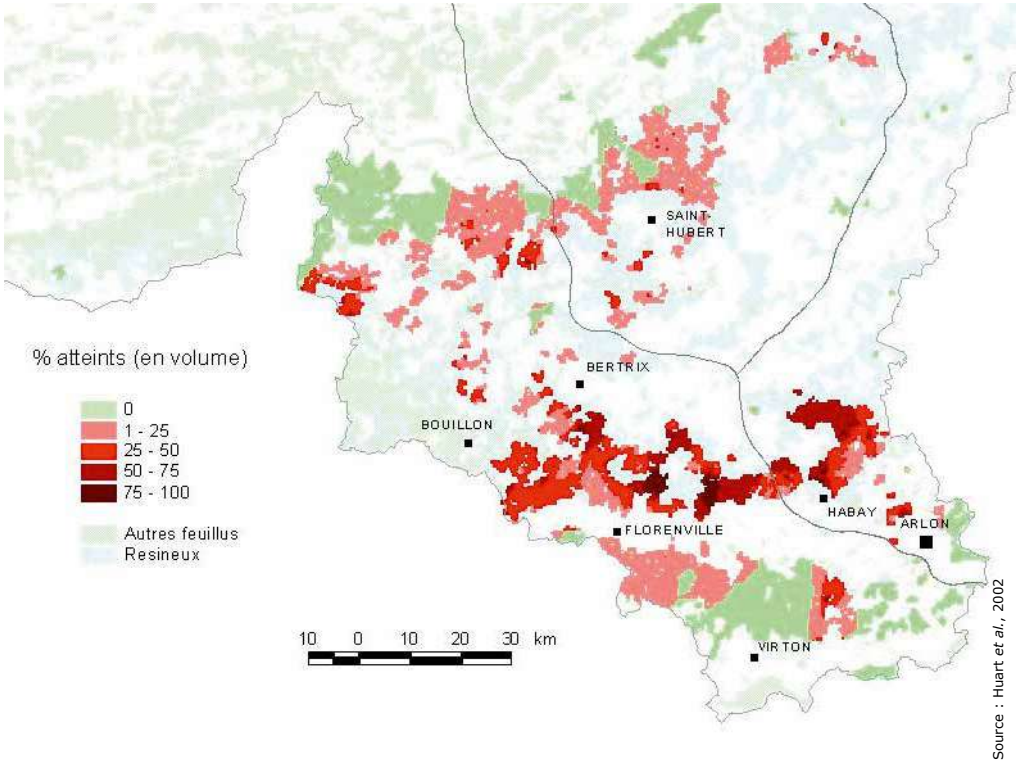


Figure 1 : Distribution géographique des dégâts, correspondant surtout à l'Ardenne.

GxABT – DNF)¹ a permis d'estimer la surface concernée en 2001 à 17 000 ha, le nombre d'arbres atteints à 750 000, pour un volume total de 1 327 000 m³ (soit 18 % du volume sur pied et 78 m³/ha). L'année suivante, les arbres qui présentent des symptômes visibles extérieurement sont, à quelques rares exceptions près, ceux déjà atteints précédemment, et une certaine proportion, atteinte par les Scolytes en 2001 ne porte plus de symptômes extérieurs. Dans certains grands massifs ardennais (Florenville, Anlier), plus de la moitié des gros Hêtres sont atteints (figure 1). La perte directe

pour les propriétaires est estimée à plusieurs dizaines de millions d'€. Les années suivantes, le nombre d'arbres présentant des symptômes a progressivement diminué (figure 2) pour devenir globalement négligeable dès 2006. Parallèlement, une grande partie des arbres présentant des symptômes en 2001 ou 2002 ont progressivement disparu par exploitation ou mort naturelle, tandis qu'un certain nombre d'entre eux n'a plus présenté de symptômes externes. Au total, on peut estimer que le volume total atteint approche les 2 000 000 m³.

1. Voir abréviations tableau p. 84.

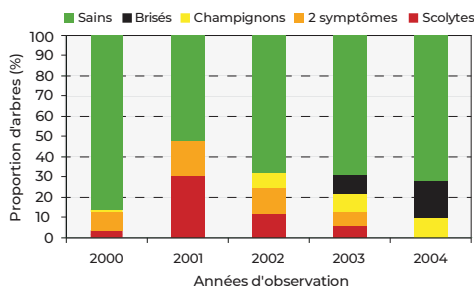


Figure 2 : Évolution des symptômes au cours du temps (dispositif d'observation de Sainte Cécile).

"La maladie"²

Grâce à un faisceau d'indices concordants (zone géographique concernée, altitude, localisation et orientation de la nécrose corticale, âge du cerne concerné par la nécrose...), il s'est avéré dès 2000, que l'origine de cette catastrophe fut un coup de froid précoce en automne 1998 (chute brutale de température sous -15°C après un automne exceptionnellement doux), qui a blessé le cambium, créant une nécrose sous-corticale. Il s'en est suivi une colonisation des troncs à partir de ces zones lésées par divers champignons et plusieurs espèces d'insectes xylophages, essentiellement des Scolytes (*Xyloterus domesticus* et *X. signatus* surtout) attirés par le dégagement d'éthanol des zones nécrotiques. Les champignons lignivores secondaires (dont *Fomes fomentarius* et *Fomitopsis pinicola* essentiellement) ont ensuite détérioré très rapidement le bois sur pied, au départ de la zone nécrosée et attaquée par les insectes xylophages, engendrant de nombreux bris de troncs et la mort des arbres (en 2 à 5 ans). Une

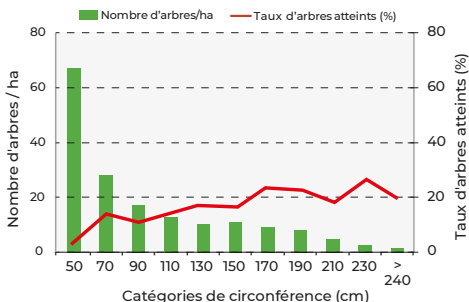


Figure 3 : Fréquence des dégâts selon la grosseur des bois (2001) - Forêt soumise wallonne (42 000 ha).

étude scientifique (ULB) tente de vérifier cette hypothèse en reproduisant artificiellement in situ les séquences de ce phénomène.

Au printemps 2001, une attaque généralisée de Scolytes s'est sur-imposée à ce



Figure 4 : Dégradation typique du bois au départ de la lésion du cambium due au gel.

2. Référence : Huart et al., 2003 ; Henin et al., 2003.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Sans objet.
Expertise de personnes référentes	Alerte du Département de la santé des forêts français.
Taux de produits accidentels récoltés	Connu.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à un plan simple de gestion	Non connu.
Extension géographique	Connu précocément (Ardenne et Lorraine belges).
Proportion du capital sur pied atteint	Connu.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	Non connu en début de crise.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Saturation de la filière, déjà très perturbée par les chablis de 1999.

Les critères de fin de crise (voir chapitre 8)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	Non connu ; forte baisse à partir de 2006.
Expertise de personnels référents	Nombreuses études de la recherche scientifique.
Retour à un nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré-crise	Retour à un équilibre analogue après purge des arbres atteints.

La gestion de la crise sanitaire³

PÉRIODE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
1999 Premiers symptômes inquiétants	Constatation d'une occurrence anormale de décollements d'écorce et de champignons sur les troncs.	DNF, GxABT
2000 Coupes sanitaires Proposition de recherche	Révision des martelages pour y ajouter les Hêtres atteints.	DNF
	Appui scientifique de GxABT.	DNF, GxABT
2000 – 2008 Suivi de l'évolution de la maladie	Mise sur pied et suivi de 3 dispositifs permanents de suivi des symptômes sans aucune intervention sylvicole.	DNF, GxABT
2001 Alerte récolte	■ Explosion de Scolytes : nombreux arbres atteints. ■ Martelages sanitaires et sécurisation des bords de route. Organisation confiée aux chefs de cantonnement. Généralement : récolte urgente des bois. ■ Mise en place d'une cellule de crise (réunions mensuelles).	DNF

3. Signification des abréviations en page 84.

2001-2002 Information et protection de la filière bois	■ Activation de la cellule de crise régionale (Ministre, Gouverneurs, Administrations, filière bois) : réunions mensuelles. ■ Diffusion régulière des acquis de la recherche. (Rondeux <i>et al.</i>, 2002). Le DNF instaure une « clause de déclassement » qui permet aux acheteurs de bois sur pied jugés "sains" de revoir le prix des lots en cas de découverte de galeries de Scolytes lors de l'exploitation.	DNF, Ministre, FEDEMAR, FNS, SRFB, scientifiques UWVC
	Estimation des pertes de rendement sciage sur base des symptômes présentés par les arbres sur pied.	DNF, GxABT
Printemps 2001 à 2003 Piégeage Scolytes	Grumes pièges à insecticide (pyréthrénoides et déploiement en 2002 de 20 000 pièges "IPM" (Etats-Unis) + phéromones (Autriche...) par crainte de voir le Scolyte devenir un ravageur primaire (par analogie à celui de l'Épicéa).	DNF, CRAGx, ULB
2001 Renforcement de la recherche multidisciplinaire	Renforcement de la recherche appliquée (épidémiologie, causes, conséquences sur le bois, gestion forestière, techniques de piégeage à grande échelle, etc.).	Ministre et DNF (coordinateur), GxABT, CRAW, ULB, UCL
2001 Suivi du phénomène à l'échelle régionale	Mise sur pied d'un suivi (2 années) : examen de 381 placettes de l'IPRFW installées en hêtraie et représentant 38 000 ha (domaine public).	DNF (IPRFW), GxABT
2001 Sensibilisation	Rédaction d'articles de sensibilisation dans les revues forestières, mise à jour des fiches techniques pour le piégeage. Séances d'informations et formation de tous les agents gestionnaires du DNF des régions concernées. Information des mandataires communaux (état des connaissances, gestion de la crise, marché du bois).	DNF (coordinateur), CRAW, GxABT, UCL, ULB.
2002 – 2006 Martelages sanitaires	Martelages annuels ou bisannuels en recherche des arbres atteints, avec clef de détection précoce des symptômes. Objectif : commercialiser le maximum de bois encore sain. Les martelages « sylvicoles » classiques sont suspendus dans les zones les plus atteintes.	DNF
2003 Synthèse scientifique	Article de synthèse sur la « maladie du Hêtre » et recommandations de gestion.	GxABT, CRAW, ULB, UCL
2004 Recommandations sylvicoles	Rédaction et diffusion de recommandations sylvicoles pour la gestion des peuplements perturbés par la crise.	DNF, GxABT
2004 Indemnisation des propriétaires	Maladie du Hêtre reconnue comme « calamité agricole » : intervention du Fonds des calamités en faveur des propriétaires forestiers.	Ministère fédéral de l'Agriculture
2006 – 2009 Retour à la normale	■ Diminution progressive du nombre d'arbres atteints. ■ Reprise des martelages « sylvicoles » dans les zones touchées et gestion des trouées. ■ Maintien d'arbres morts en faveur de la biodiversité (circulaire). ■ Révision progressive des aménagements dans certaines zones parmi les plus touchées.	DNF

phénomène. Elle a affecté, de manière encore non expliquée avec certitude, beaucoup d'arbres sains, mais sans provoquer de mortalités généralisées. Les Scolytes incriminés, naturellement présents en grand nombre dans toutes les hêtraies, sont donc demeurés strictement secondaires.

Pour les gestionnaires, les actions à mener sont d'éviter les risques de chutes d'arbres sur les voiries et les régénérations, ainsi que de tenter de commercialiser le bois qui peut l'être, la difficulté étant de détecter les bois atteints avant que ceux-ci ne soient trop altérés. Les symptômes précoces à rechercher sont : piqûres d'insectes, taches noires sur écorce, champignons, branches basses du houppier dépérissantes...

À la consultation des carnets de triage (archives des agents forestiers du DNF) et de la littérature, il semble qu'un événement similaire se soit déjà produit, avec moins d'ampleur, suite à l'hiver exceptionnellement rude de 1941-42.

Bilan général en 2010

La situation de crise aiguë a perduré cinq ans (2000-2005), entre les premiers chablis et la diminution progressive des arbres présentant des symptômes, notamment suite aux récoltes. En 2001, devant l'ampleur des dégâts, la pullulation des Scolytes et le caractère inconnu du phénomène, toute la filière bois fut prise de panique. Afin de répondre à la demande urgente des forestiers et des communes propriétaires, des actions ont été proposées sur base des connaissances et de l'expertise scientifique du moment. *A posteriori*, les opérations de piégeage des Scolytes, si elles ont permis de captu-



© Hugues Claessens

Figure 5 : État d'un peuplement fortement atteint après 10 ans (forêt du Rurbush, Haute Ardenne ; 2008).

rer un grand nombre d'individus, se sont révélées incapables de protéger efficacement les peuplements tant l'attractivité des arbres était élevée et les populations d'insectes importantes. Par ailleurs, la récolte urgente et à tout prix, du moindre chablis a souvent entraîné des dégâts conséquents aux sols forestiers.

Un an après le déclenchement de la maladie, une « cellule de crise », regroupant les gestionnaires (DNF), les scientifiques et les Fédérations de la filière bois a été mise sur pied. Au fur et à mesure des constats dressés par les acteurs de terrain et des avancées régulières du consortium de recherches scientifiques appliquées (GxABT, ULB, CRAGx, UCL et des experts internationaux – France ONF, DSF, Luxembourg, Allemagne –. La Spina *et al.*, 2013), elle a permis d'établir des directives pour la gestion de la crise, ainsi que des itinéraires de restauration des forêts atteintes.

L'ampleur des dégâts a pu être évaluée grâce à une collaboration entre la recherche et le DNF (Inventaire permanent des ressources forestières de Wallonie).

L'aide directe à la filière bois s'est limitée à l'introduction dans les cahiers des charges des ventes de bois (forêts publiques), d'une clause de déclassement pour les lots de grumes de Hêtres achetés "sains" et diagnostiqués "scolytés" lors de l'exploitation.

Les suites de l'après crise

Fin 2009, les arbres atteints ont pratiquement tous été purgés des forêts, tandis qu'un certain nombre a été abandonné, participant à l'amélioration de la biodiversité. Parmi les tiges ayant subi des attaques de Scolytes, certaines ont cependant réussi à surmonter ces attaques mais gardent en elles des traces de galeries. Les martelages ont repris leur cours normal, parfois avec des révisions d'aménagement dans les zones les plus touchées et des adaptations de la gestion, notamment des trouées. Cette crise a permis de se rendre compte de la fragilité de la hêtraie climacique, surtout lorsque celle-ci est "pure". À l'avenir, plusieurs actions seraient utiles :

- Établir un mode opératoire au cas où ce phénomène se reproduirait. Le DNF envisage d'élaborer un plan de crise spécifique à la « maladie du Hêtre » ;
- Trouver un équilibre forêt-gibier compatible avec les besoins de restauration des forêts, notamment vis-à-vis de la nécessaire diversification (Chêne, Bouleau, Érable : des espèces très appréciées) ;
- Envisager des révisions d'aménagement pour les propriétés fortement touchées, tenant compte notamment des contraintes liées à Natura 2000 et aux changements climatiques.

2020 : bilan 15 ans après la crise du Hêtre en Ardenne

2015 : confirmation de la sortie de crise

En 2015, soit 17 ans après le coup de froid qui a provoqué la crise sanitaire, le dispositif de suivi de Sainte-Cécile montre que la crise est bel et bien finie (Claessens *et al.*, 2016). On n'observe quasiment plus de nouveaux arbres symptomatiques depuis 2002. À quelques exceptions près, seules les tiges malades en 2002 (Scolytes, *Fomes fomentarius*) montrent des symptômes ou meurent. Le stock d'arbres sains de 2002 est quasiment resté intact. Parallèlement, les individus touchés en 2002 ont tous progressivement disparu jusqu'en 2015, restaurant l'état sanitaire de la hêtraie (figure 6).

Vers un nouvel état d'équilibre ?

Au niveau plus général du plateau ardennais, sur la zone touchée en 1998, on observe encore des arbres qui meurent suite à l'apparition de Fomes dans une zone du tronc étonnamment semblable à celle des années 2000 (figure 7). La question d'un nouvel état d'équilibre est posée. On pourrait faire l'hypothèse que l'attaque d'arbres sains par des Scolytes en 2001, qui semblait sans conséquence, ait été à l'origine de l'inoculation de Fomes. Celui-ci vivrait en endophyte⁴ au sein de ces Hêtres et se manifesterait à l'occasion des récents stress induits par les sécheresses et canicules des années 2015 à 2019.

4. Parasite vivant à l'intérieur des tissus végétaux.

Des recommandations aux gestionnaires

En 2016, sur base de l'expérience de la crise du Hêtre, de nouvelles recommandations sylvicoles ont été conseillées aux gestionnaires (Claessens *et al.*, 2016) et ont été plus favorablement accueillies que celles de 2004, notamment en raison du recul par rapport à la crise et de la prise de conscience de l'impact des changements climatiques sur la hêtraie (Latte *et al.*, 2018). La gestion sylvicole des hêtraies vise désormais à diversifier les peuplements, raccourcir les âges d'exploitabilité et favoriser la biodiversité fonctionnelle.

Vers une nouvelle crise ?

L'Inventaire forestier régional montre que l'état des houppiers se dégrade d'année en année, à l'échelle de tout le pays (figure 7). Ce phénomène, dont les symptômes ne correspondent pas à ceux de la crise du Hêtre, est en cours d'investigation.

ABRÉVIATIONS

CRAW : Centre de recherches agronomiques de Wallonie

DNF : Département de la nature et des forêts

DSF : Département de la santé des forêts (français)

GxABT : Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux (devenue « Gembloux Agro-Bio Tech » au sein de l'université de Liège)

FEDEMAR : Fédération des marchands de bois

FNS : Fédération nationale des Scieries

IPRFW : Inventaire permanent des ressources forestières de Wallonie

ONF : Office national des forêts (français)

UWVC : Union wallonne des villes et des communes

SRFB : Société royale forestière de Belgique

ULB : Université libre de Bruxelles

UCL : Université catholique de Louvain

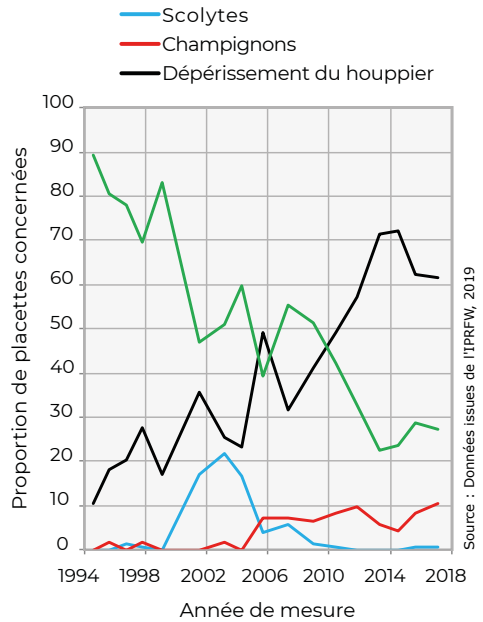


Figure 7 : Évolution de la présence d'arbres symptomatiques dans les placettes de l'Inventaire forestier régional (IPRFW). En 2017, près de 3/4 des placettes de hêtraie adulte comportent au moins un arbre symptomatique.

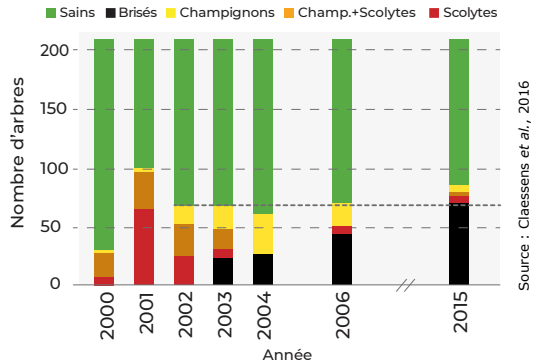


Figure 6 : Dispositif de suivi de Sainte Cécile. Évolution du nombre d'arbres présentant les différents symptômes de la crise du Hêtre.

La ligne pointillée montre que les arbres touchés en 2002 disparaissent progressivement tandis que très peu de nouveaux arbres symptomatiques apparaissent depuis lors. En conséquence, l'état sanitaire du peuplement du dispositif est pratiquement restauré en 2015.

FICHE N°5

Le dépérissement de Chêne et de Hêtre en forêts de Compiègne, Laigue et Chantilly

Un dépérissement de Chêne (essentiellement pédonculé) et de Hêtre est signalé depuis le début des années 2000 en forêts de Laigue, Compiègne et Chantilly, forêts du sud de l'Oise reposant sur sol sableux. Probablement multifactoriel, il avait été intégré dans les aménagements qui prévoyaient un renouvellement en Chêne sessile. Une accélération du dépérissement, d'importants échecs de régénération et la découverte de l'impact du Hanneton en 2015 ont cependant rendu les aménagements impossibles à respecter et amené l'ONF à déclarer un état de crise sanitaire en 2016.

Rédacteur : Louise Brunier (CNPFF)

Contact : bertrand.wimmers@onf.fr et daisy.copeaux@institutchantilly.fr

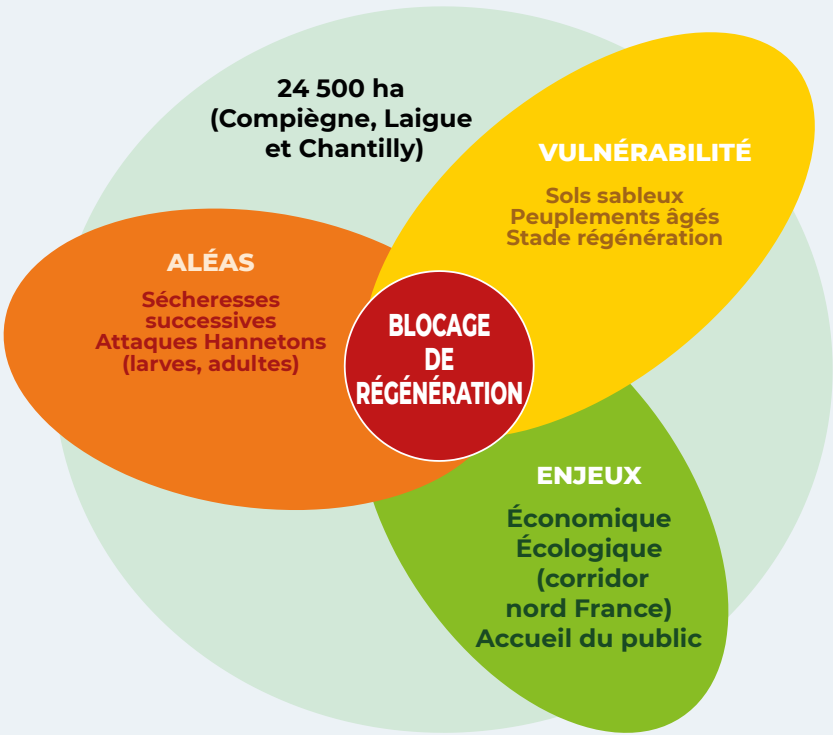
Les trois forêts représentent 24 500 ha et cumulent de forts enjeux : écologique (Compiègne, Laigue et Chantilly sont classées en zone Natura 2000 et constituent le réservoir de biodiversité et le grand corridor partant de Paris vers le Nord de la France), social et paysager (forte fréquentation du public, Chantilly est en site classé) et de production de bois. Les Chênes ont été introduits par l'homme et ont une fonction de production importante. Les dépérissements du pédonculé et du Hêtre sont

imputés aux conditions stationnelles (sol sableux sur une grande épaisseur), couplé à l'âge des peuplements, à leur déstabilisation par les tempêtes successives (notamment Compiègne et Laigue), aux déficits hydriques répétés, en particulier ces dernières années. Les dépérissements et le vieillissement des peuplements induisent de fortes surfaces à régénérer à objectif Chêne sessile, considéré par les experts comme un bon candidat pour faire face aux changements climatiques à venir.

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Dépérissement du Chêne et du Hêtre en forêts de l'Oise

- ☒ Crise déclarée
- ☒ Cellule de crise
- ☐ Sortie de crise
- ☐ Retour à l'équilibre
- ☒ Aménagements modifiés



- Crise déclarée (ONF)
- Aménagements de crise (souplesse, expérimentations)
- Diffusion guide technique "Hanneton"



- Partenariat incomplet à ce jour
- Peu d'actions de recherche
- Sortie de crise... lointaine ?

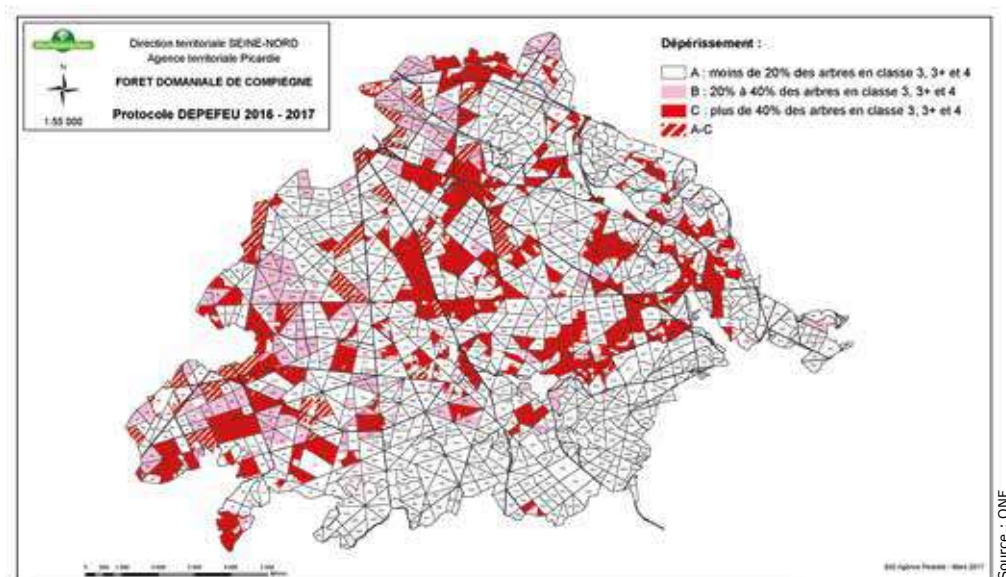


Figure 1 : Carte des dépérissements des peuplements feuillus adultes en forêt de Compiègne, établie en 2016-2017 à l'aide du protocole DEPEFEU.

En 2014, des problèmes de régénération sont constatés et des fosses pédologiques sont creusées. Le Hanneton forestier est ainsi identifié comme particulièrement présent. Un bilan approfondi d'application des aménagements est lancé, qui identifie deux grandes difficultés :

- les échecs de renouvellement, tant naturel en Hêtre qu'artificiel par plantation de Chêne sessile, sont importants ;

- les dépérissements de futaies de Hêtre et de Chêne pédonculé s'accroissent et concernent des zones où ils n'étaient pas prévisibles, y compris sur de jeunes peuplements de Hêtre ; certaines parcelles en amélioration sont très touchées (figure 1). Face à ce constat, une crise sanitaire est déclarée en 2016. Un bilan approfondi est conduit en 2017-2018 et un aménagement de crise initié en 2019 pour la forêt domaniale de Compiègne.

L'aménagement de la forêt de Chantilly arrivant à échéance en 2020, le choix de réaliser un aménagement de crise per-



Figure 2 : Adulte mâle de Hanneton forestier en cours de consommation de feuille de Chêne à Compiègne.

mettant les adaptations de gestion est également arrêté en lien avec l'Institut de France, propriétaire. Celui de la forêt de Laigue sera repris en 2022, échéance de l'aménagement actuel.

Les facteurs déclenchants

Les causes des dépérissements des arbres adultes et des échecs de régénération sont probablement multifactorielles mais n'ont pas été recherchées explicitement, de

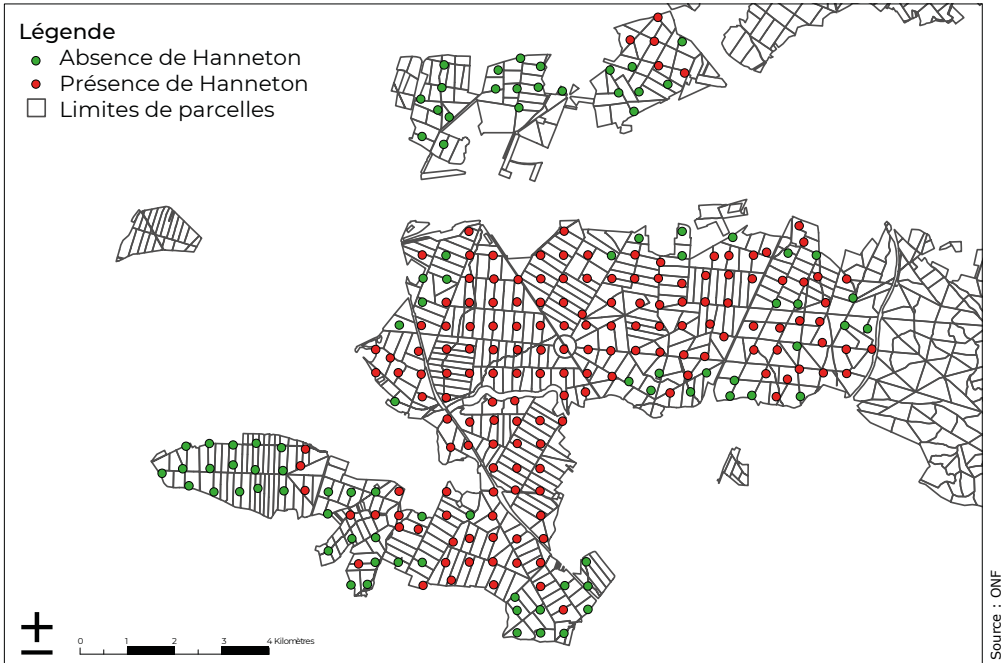


Figure 3 : Étude de la présence du Hanneton en forêt de Chantilly — Septembre 2018.

même que le processus de dépérissement n'a pas été précisément daté. La répétition des dernières sécheresses (2011, 2015, 2018 et 2019) a vraisemblablement un impact tandis que le Hanneton vient aggraver ces phénomènes. Le déséquilibre forêt-gibier de la période passée a amplifié les échecs de régénérations naturelles.

Ces différents facteurs sont sous surveillance depuis longtemps mais c'est la découverte récente du Hanneton (Figure 2) qui a déclenché la déclaration de crise.

Le Hanneton :

Deux espèces sont observées en milieu forestier :

- le Hanneton commun (*Melolontha melolontha*) : préférentiellement sur les bordures et lisières,
- le Hanneton forestier (*M. hippocastani*) : présent en milieu forestier, avec un développement larvaire dans les sols

sableux non hydromorphes jusqu'à 50 cm de profondeur.

Le cycle biologique se déroule en 2 phases : une phase larvaire souterraine et une très courte phase aérienne pendant laquelle les adultes se reproduisent (mois de mai). Ce cycle dure 4 ans pour le Hanneton forestier et 3 ans pour le commun. La phase aérienne de reproduction est globalement synchronisée : on a ainsi des grands vols d'insectes une fois tous les 3 ou 4 ans.

Les larves se nourrissent des racines des arbres pendant la phase souterraine (tous ligneux) et les adultes consomment leurs feuilles (préférentiellement de Chêne, autres feuillus possibles) pendant la phase aérienne.

La consommation racinaire par les larves provoque des dégâts visibles et importants sur les plants, semis et gaules. Les gestionnaires suspectent un impact et une fragilisation sur les arbres adultes par réduction et affaiblissement du système racinaire, mais

ce point n'est actuellement pas documenté. Les Hannetons adultes provoquent d'importantes défoliations tous les 4 ans (dernièrement en 2016) notamment sur les Chênes. Les solutions de lutte chimique contre cet insecte sont réglementairement interdites, aucune autre méthode de lutte efficace n'a pour l'instant été identifiée dans

la littérature ou auprès des gestionnaires et organismes confrontés à ce phénomène. Le Hanneton cause également des dégâts dans d'autres régions et pays : très présent dans les pays d'Europe de l'Est, il est également présent en France dans les Vosges du Nord (sur 26 000 ha) et en Alsace à Haguenau (sur 7 000 ha).

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Dépérissements des arbres provoquant des risques pour les usagers.
Expertise de personnes référentes	■ Groupe national Hanneton. ■ Département de la santé des forêts (DSF). ■ ONF Département recherche, développement, innovation (RDI).
Taux de produits accidentels récoltés	Récolte de produits accidentels depuis les années 1980, non répertoriés spécifiquement.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion (PSG)	Aucune coupe. Le problème concerne principalement la forêt publique, mais des cas sont également signalés en forêt privée sur sols sableux (peu de forêts concernées par ces stations) sans que cela n'amène de modification de PSG début 2020.
Extension géographique	20 000 ha avérés, 4 000 ha supplémentaires potentiels.
Proportion du capital sur pied atteint	■ Sur Compiègne, en 2017, 22 % de la surface est en dépérissement fort et 9 % en dépérissement modéré. ■ Phénomène évolutif dont la cinétique est complexe à appréhender.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	■ Futaies âgées de Hêtre et Chêne pédonculé hors stations (sur sables profonds), déstabilisées par plusieurs tempêtes successives. ■ Déficit hydrique printanier. ■ Déséquilibre forêt-gibier. ■ Invasion par <i>Prunus serotina</i> et graminées sociales. ■ Conditions de sol et de climat favorables au Hanneton.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	■ Fort à moyen/long terme. ■ Aval : les volumes exploités ne sont pas prévisibles, car dépendant de l'intensité des dépérissements. Risque de raréfaction de la ressource Chêne 50 et + au nord de Paris. ■ Amont (pépiniéristes) : surfaces à planter et nombre de plants difficilement prévisibles. Une réduction des surfaces et du rythme de plantation est à prévoir sur les zones infestées.
Autre critère	Difficulté de régénération depuis 1999 : 50 % des plantations ont un taux de reprise inférieur à 40 % (3 plants plantés pour 1 présent) ; 60 % des régénérations naturelles ont une densité de semis insuffisante pour un objectif de bois d'œuvre.

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

En 2020 les gestionnaires sont au cœur de la crise. Il est encore difficile d'appréhender les formes et l'échéance d'une sortie de crise, ni même si un retour à l'équilibre antérieur s'opérera.

L'accompagnement des gestionnaires par des experts et comités scientifiques doit permettre de mieux caractériser et évaluer les différents phénomènes à l'œuvre et valider la démarche expérimentale, élément important de la gestion future et des aménagements de crise.

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
2014 Premier constat	Échecs de régénération détectés en forêt domaniale de Laigue.	ONF
2015 Identification du problème	Création de fosses pédologiques en forêts de Laigue et Compiègne : détection de la forte présence du Hanneton. Des études complémentaires sont nécessaires pour identifier son impact.	ONF, DSF
2015-2019 Bilan d'applicabilité des aménagements	Bilan approfondi des aménagements de Laigue et Compiègne : ■ évaluation des réussites et échecs des plantations et régénérations naturelles depuis 1999 ; ■ étude sur l'adaptation des essences objectifs sous variation climatique.	ONF, DSF
2016 Quantification du problème	■ « Grand vol » du Hanneton : suivi des populations et pontes sous différents faciès de végétation. ■ Évaluation des défoliations des peuplements adultes. ■ Évaluations des dépérissements des arbres adultes sur placettes en hiver 2016-2017.	ONF, DSF, associations locales
2016 Déclaration de crise	Le bilan d'applicabilité des aménagements et la quantification des problèmes de dépérissement et de régénération amène à une conclusion forte : ■ l'aménagement de Compiègne (2012-2031) ne peut plus être mis en œuvre ; des alternatives de gestion doivent être envisagées ; ■ une crise sanitaire est alors déclarée en interne, une décision d'aménagement de crise se dessine.	ONF
2016-2019 Comité national de coordination	À l'initiative de l'ONF, installation d'un comité national avec un plan d'actions articulé en plusieurs axes : ■ mise en place d'observatoires des populations de Hannetons et des peuplements impactés dans les massifs concernés (échelle nationale) ; ■ recenser les retours d'expériences au niveau européen ; ■ synthèse bibliographique sur le Hanneton ; ■ étude de l'impact du couvert forestier sur les populations du ravageur ; ■ édition d'un guide national de gestion adaptative des coupes et des travaux.	ONF, RDI ONF, DSF, INRA
2017-2019 Communication	Présentation de la situation aux élus, services de l'État, associations (comités de forêts, AG des associations, colloque, etc.).	ONF

2017 et années suivantes Mise en sécurité	Campagnes de sécurisation des sites touristiques impactés par les dépérissements.	ONF, Département de l'Oise
2018 Limitation des investissements de plantation	Tests de plantations sur sols infestés par le Hanneton selon différentes modalités de travail du sol. Résultat : aucune modalité ne semble pertinente à ce stade. Arrêt des investissements sur sols infestés.	ONF, RDI ONF
2018 Cartographie Hanneton	Cartographie de la présence du Hanneton sur Compiègne, Laigue et Chantilly par la méthode « bord de route » (Circulation en voiture et arrachage des semis ou plants pendant 5 minutes maximum par point. Point noté positif si système racinaire consommé).	ONF, DSF
2018 Edition du guide de gestion adaptative des coupes et des travaux dans les forêts infestées par le Hanneton	Principales préconisations : ■ suivre l'évolution des phénomènes en continu, ■ éviter la perte de valeur des bois en récoltant avant dépréciation, ■ adapter, voire suspendre, les travaux sylvicoles dans les parcelles infestées, ■ favoriser la régénération naturelle du Pin sylvestre et augmenter la part des résineux lors des plantations, ■ mettre en œuvre des itinéraires de non investissement (objectif bois d'industrie/bois-énergie) sur certaines unités de gestion, ■ restaurer impérativement l'équilibre forêt-gibier pour préserver les strates végétales basses.	Comité national de coordination
2019 Critères de récolte des dépérissants	Définition de critères de récolte par essence (Hêtre, Chêne) en situation de dépérissement pour guider, objectiver et harmoniser le choix des marteleurs (récolte ni trop rapide ni trop lente pour éviter les pertes de valeur).	ONF
2019 Recherche	Étude sur les conditions de sol favorables au Hanneton (Desaubry, 2019).	RDI ONF
2020 Aménagement de crise	Finalisation de l'aménagement de crise pour la forêt de Compiègne 2021-2030.	ONF
2020 Plan de crise	Validation par l'ONF d'un plan de crise général de grande ampleur articulé autour de 8 axes et une soixantaine d'actions comprenant modèle sylvicole, R&D, impact sur la filière, communication, gouvernance et parties prenantes, biodiversité et paysage.	ONF

Bilan général en 2020

Si la découverte de la présence très importante du Hanneton et de son impact sur les jeunes peuplements a déclenché l'entrée en crise en 2016, les difficultés de régénération et les dépérissements étaient identifiés de longue date (plus de 20 ans).

Ces impacts sont probablement multifactoriels et peuvent être indépendants. Un bilan approfondi et détaillé a permis de bien caractériser les difficultés, sans pouvoir affecter la part des différentes pressions et contraintes à chacun des phénomènes à l'œuvre.



Figure 4 : Forêt de Compiègne, état en 2019 d'un peuplement classé en amélioration en 2012.

Points positifs

- Déclaration officielle d'une crise en interne ONF : elle est suivie par une cellule de crise.
- Bilan de gestion approfondi, mise en place de nombreux suivis et diagnostics pour qualifier, quantifier, caractériser les différents phénomènes.
- Mise en place d'une cellule de coordination nationale : mutualisation des connaissances et retours d'expériences y compris à l'international (Cours, 2019) ; organisation d'un workshop international à Nancy (3-5 octobre 2018, projet BENCHAFOR, Labex ARBRE) ; édition d'un guide de gestion spécifique Hanneton.
- Établissement d'un plan de crise global.
- Rédaction d'un aménagement de crise, innovant et ouvert, préfigurant peut-être un modèle pour les forêts publiques en crise sanitaire compte tenu des changements globaux et permettant :
 - la souplesse et les adaptations de gestion nécessaires dans un cadre réglementaire face aux différents aléas à la cinétique incertaine,
 - la mise en œuvre d'expérimentations et la reconnaissance de ces massifs comme forêts « laboratoires », pouvant bénéficier de programmes et d'expertises reconnus.

Difficultés et points d'amélioration

- Délai important entre la déclaration de crise et une communication grand public de grande ampleur fondée sur un plan de crise structuré. Celui-ci est lié en particulier au besoin d'éléments de bilan et de compréhension des phénomènes et au déficit de solutions techniques pour garantir le renouvellement forestier.
- Crise gérée en interne ONF qui aurait mérité une plus forte implication de l'État, des organismes de recherche et de la forêt privée. L'administration locale reste cependant présente aux réunions et tournées techniques sur le sujet. Par ailleurs, le programme régional forêt-bois (PRFB), validé en novembre 2019, a pris la mesure des crises climatiques et sanitaires sur ce territoire forestier de grands feuillus sociaux sur sable et sous contraintes liées au climat, au grand gibier et au Hanneton.
- Les organismes de recherche sont impliqués dans le comité de coordination, mais aucune recherche spécifique n'est menée à ce jour.
- La forêt privée est moins mobilisée sur la problématique des impacts du Hanneton sur le renouvellement forestier du fait d'une politique de plantation et d'itinéraires techniques de Chêne sessile moins développée.

FICHE N°6

La chalarose du Frêne en France, exemple du Nord et du Pas-de-Calais

La chalarose du Frêne se répand en Europe depuis 1992. Les premiers foyers français sont identifiés en 2008 en Haute-Saône et en 2009 dans le Pas-de-Calais. La maladie s'étend désormais vers l'ouest de la France, plus de 40 départements français sont déjà touchés en 2017. Le Frêne représente en France environ 95 millions de m³¹, dont 21 millions de m³ de bois d'œuvre² et est présent sur 33 % de la surface boisée. Avec des volumes significatifs, la région Hauts-de-France concentre des enjeux économiques importants (2,81 M m³, soit 14,7 % du volume bois d'œuvre de Frêne en enjeu modéré à fort recensé en France³). Le Pas-de-Calais, seul département où le Frêne est la première essence, est particulièrement vulnérable. L'ONF déclare en 2016 un état de crise sanitaire pour cinq forêts domaniales du Nord et du Pas-de-Calais.

*Rédacteur : Louise Brunier (CNPf)
Contact : benjamin.cano@cnpf.fr*

1. Volume bois fort : volume des arbres de diamètre à 1,30 m supérieur à 7,5 cm, jusqu'à la découpe fin bout de 7 cm.

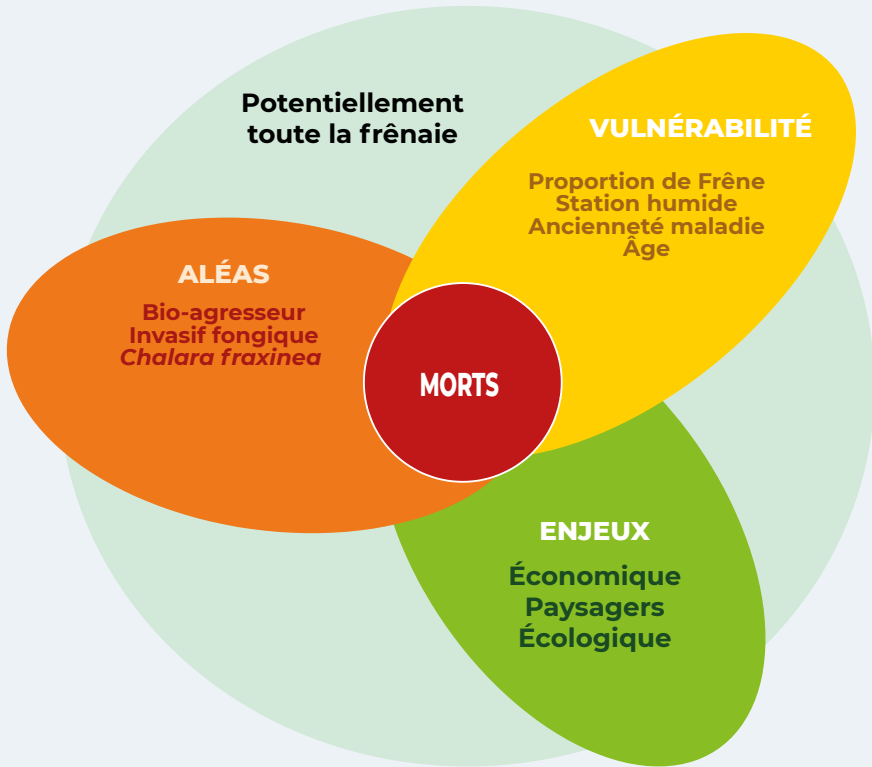
2. Volume de bois d'œuvre : partie du volume des arbres de diamètre à 1,30 m supérieur à 40 cm de diamètre dont la qualité répond aux débouchés de bois d'œuvre.

3. Source : BASTICK C., COLIN A., LEBLANC M. & COUSSEAU G. (2016). CHALFRAX - Action 4-1 - Rapport d'exécution.

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Chalarose du Frêne

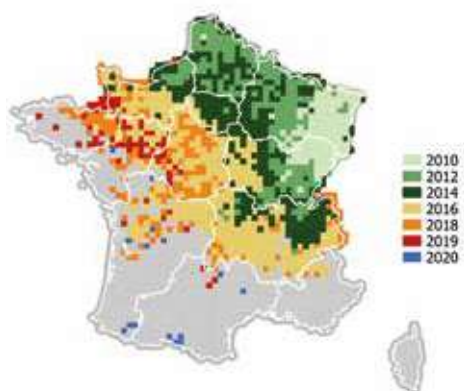
- ☒ Crise déclarée
- ☒ Cellule de crise
- ☐ Sortie de crise
- ☐ Retour à l'équilibre
- ☐ Aménagements modifiés



- Alerte et suivi de la progression (DSF)
- Programme d'étude pour la compréhension et la gestion du phénomène
- Stratégie nationale établie

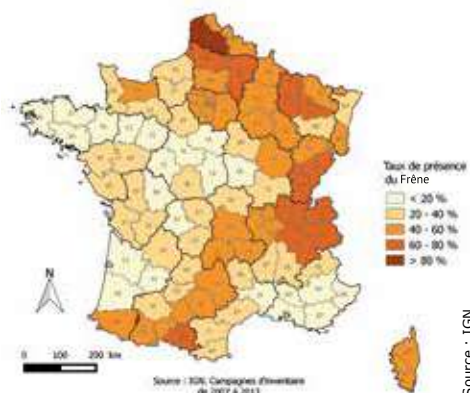


- Communication entre forêt publique/privée /État à améliorer
- Engorgement marché du bois



Source : DSF

Figure 1 : Carte représentant l'avancée de la chalarose du Frêne en France.



Source : IGN

Figure 2 : Carte représentant le taux de présence du Frêne en France par département.

Les premiers dépérissements de Frêne en Europe sont observés au début des années 1990 en Pologne et en Lituanie. En 2006, le champignon responsable de ces dépérissements est identifié : *Chalara fraxinea*. Les signalements se multiplient à travers l'Europe. Le premier foyer dans le Pas-de-Calais est identifié en 2009 sur de jeunes individus près de Fruges. Les correspondants observateurs du Département de la santé des forêts (DSF) sont sensibilisés aux symptômes de la maladie, ce qui permet une détection rapide et un suivi efficace de sa propagation à travers le territoire. Cependant la dynamique d'évolution des dommages sur arbres infectés et des dégâts dans les peuplements n'est alors pas encore connue.

Dès 2010, le foyer initial prend de l'ampleur : la maladie se déplace de 50 à 70 km/an. Le premier cas de chalarose est identifié en forêt publique. Le DSF recommande de ne plus planter de Frênes et appelle à la prudence dans la gestion de l'existant tout en conseillant d'exploiter les individus les plus sévèrement touchés : il faut attendre de mieux comprendre l'évolution de la maladie.



Nathalie Bréda © INRAE

Figure 3 : Peuplement de Frênes en forêt domaniale de Boulogne-sur-mer (62), septembre 2019.

Le mécanisme de reproduction du champignon est identifié par la recherche en 2011. Devant la progression de la maladie, les acteurs s'organisent : la nécessité de mettre en commun les connaissances et les stratégies de gestion au niveau national s'impose.

Les facteurs déclenchants : la maladie⁴

Chalara fraxinea, à l'origine de la chalarose du Frêne, est un champignon très facilement disséminé par le vent. Originaire d'Asie, il colonise les feuilles et jeunes

4. Source : Programme Chalfrax (<https://chalfrax.cnrf.fr/>)

rameaux durant l'été et provoque des nécroses au collet en cas de forte concentration de spores infectieuses dans la litière. Il ne se propage pas par les vaisseaux du bois et est incapable de coloniser l'ensemble de l'arbre. Les nécroses au collet et le déficit foliaire du houppier sont donc indépendants : un arbre peut présenter un houppier sain et de nombreuses nécroses au collet, l'inverse étant également possible.

Plusieurs facteurs expliquent la sévérité de la maladie :

- **L'ancienneté de la contamination** : le taux de mortalité des populations de Frêne est plus important si la maladie est présente depuis longtemps dans le secteur géographique.
- **L'âge des peuplements** : le taux de mortalité évolue plus vite dans les jeunes populations.

■ **La densité en Frêne** : les parcelles où l'essence est majoritaire sont les plus atteintes.

■ **L'humidité dans le sol** : plus les stations sont humides, plus les Frênes présentent des nécroses au collet et un déficit foliaire du houppier élevé.

La chalarose provoque un dépérissement conduisant peu à peu à des mortalités d'arbres adultes. Le gestionnaire bénéficie d'une marge de manœuvre d'autant plus importante que les peuplements à Frêne sont adultes, mélangés et exposés depuis peu de temps à la maladie.

Cela explique notamment que la maladie ait manifesté une évolution particulièrement rapide dans le Pas-de-Calais : fréquence élevée du Frêne dans les paysages et les peuplements, stations humides et exposition ancienne à la maladie.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine (facteur principal d'entrée en crise en forêt publique)	Risque de chutes de branches et d'arbres → Nécessité de fermeture pour sécurisation de 5 forêts domaniales par l'ONF.
Expertise de personnes référentes	Correspondant observateur du DSF formé à la reconnaissance de la maladie.
Taux de produits accidentels récoltés	Non connu. C'est le volume total de Frêne récolté qui a été utilisé, par rapport à 2010 : facteur d'environ x 0,75 en forêt privée et x 1,8 en forêt publique en 2016.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à un plan simple de gestion	Forte augmentation : facteur x 5 entre 2010 et 2016. (figure 4).
Extension géographique	Potentiellement très grande : propagation très rapide de 50 à 70 km/an.
Proportion du capital sur pied atteint	Significative dans les peuplements riches en Frêne (40 % en moyenne du capital sur pied des peuplements fortement endommagés après 6 années d'infection).
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	Très vulnérables : peuplements homogènes de Frênes.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Bois d'œuvre : le marché se maintient grâce à l'export vers l'Asie. Bois de chauffage : marché saturé ne permettant pas d'écouler tous les bois mais maintien des prix.

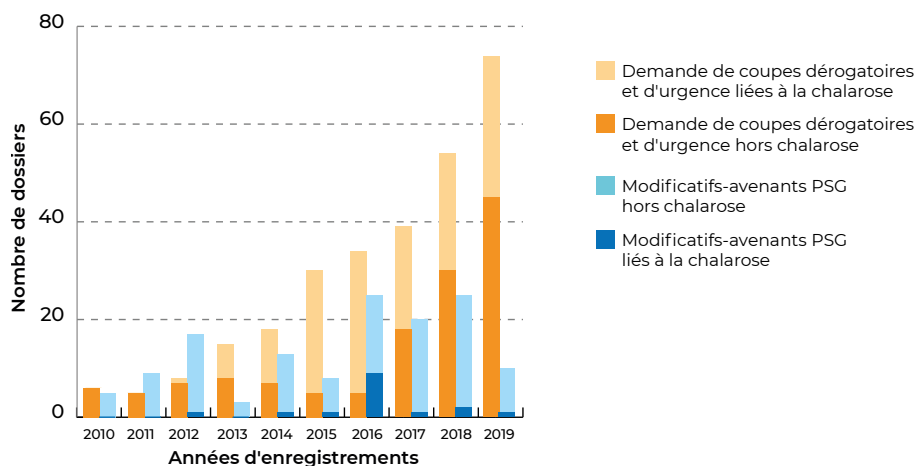


Figure 4 : Évolution des demandes de coupes (urgence, dérogatoires) et de modificatifs PSG enregistrés par le CRPF HdF de 2007 à 2019 (L'augmentation des demandes de coupe hors chalarose à partir de 2017 est liée principalement aux dégâts de Scolytes).

Source : Sylvain Pilon et Nicolas Lorique (CNPF)

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

La crise n'est pas considérée comme terminée en 2020. Le Frêne va continuer à dépérir plus ou moins rapidement selon les contextes : la gestion forestière continuera à être fortement impactée par la crise. Une gestion adaptative se met cependant en place.

La gestion de la crise sanitaire (voir p. 98-99)

Bilan général en 2020

En 2020, cette crise n'est pas considérée comme terminée, mais un premier retour d'expérience est déjà possible de la part des régions les plus fortement touchées⁵. La chalarose est maintenant présente depuis plus de 10 ans sur le territoire français : le Frêne n'a pour autant pas encore disparu de notre territoire. Cette maladie laisse une marge de manœuvre au forestier en provoquant un dépérissement progressif. L'évolution des dommages est cepen-

dant variable et dépendante de plusieurs facteurs. Le Pas-de-Calais a notamment connu une progression plus rapide des dégâts et connaît à ce jour une situation très impactée. En forêt publique des Hauts-de-France, 3 à 4 000 ha sont à reconstituer sur une période estimée à 20 ans.

Points positifs

- Mise au point d'une stratégie nationale en forêt publique (Guide ONF 2017) et en forêt privée (programme Chalfrax 2020).
- Articulation de la stratégie Chalfrax par l'analyse de risques, reproductible pour d'autres crises. (suite p.100)

5. Cette fiche prend l'exemple du Nord et du Pas-de-Calais, mais la région Grand Est est également très touchée.

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
2008 Premier foyer français en Haute-Saône puis en 2009 dans le Pas-de-Calais	Dépérissement détecté par les correspondants observateurs du DSF ; l'analyse en laboratoire confirme la maladie.	DSF
2010 Arrêt des plantations de Frênes et critères de récolte en forêt publique	Directive interne ONF précisant les critères de récolte : prélever les arbres les plus atteints qui ont encore un intérêt économique. Arrêt de toute action de plantation (France entière). Vigilance renforcée hors zone contaminée. Décision prise sur la base des recommandations DSF et INRA. Difficultés : certaines pépinières ont cependant continué à vendre du Frêne et des propriétaires privés à en planter.	ONF
2013 Guide de gestion CNPF	Publication du <i>Guide d'aide à la décision pour la gestion des frênaies menacées par la chalarose en Hauts-de-France</i> .	CNPF
2014 Naissance du projet Chalfrax	L'objectif du projet est de construire une stratégie de gestion de crise commune au niveau national basée sur 5 axes de travail (résistance et tolérance ; contexte infectieux et état sanitaire ; stratégie de gestion ; ressource et valorisation économique ; communication). Les premières actions démarrent en 2016.	CNPF, DSF, INRA, GCF, FRANSYLVA, ONF
2015 à 2020 Études scientifiques – Compréhension des facteurs de risques (aléas, vulnérabilité, impacts)	■ Expertise des dommages en zone d'enjeu prioritaire ■ Impact de traitements sylvicoles sur l'intensité des dommages ■ Prévalence et déterminisme génétique des mécanismes de résistance et de tolérance ■ État des lieux de la ressource nationale en Frêne ■ Impact de la maladie sur la qualité du bois et la croissance.	Projet Chalfrax
2015 à 2019 Développement d'itinéraires sylvicoles alternatifs	Déploiement d'un réseau de 43 références expérimentales installées en Hauts-de-France, Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté.	Projet Chalfrax CNPF
2016 Investigations transfrontalières	Enquêtes en Pologne et en Allemagne pour état des lieux de la situation et synthèse des initiatives en matière de recherches, stratégies de gestion et politiques forestières consécutives à la chalarose.	Projet Chalfrax CNPF
2016 Déclaration de crise en forêt publique	Concerne 5 forêts domaniales (Nieppe, Boulogne, Desvres, Hardelot, Vimy) pour lesquelles la sécurité du public n'était plus assurée. Difficultés : les services de l'État ont été sollicités pour participer à cette déclaration/gestion de crise mais leur rôle étant difficile à définir, la déclaration s'est faite en interne ONF.	ONF Hauts-de-France
2016 Proposition d'un plan de crise régional par le CRPF	Diffusion d'un rapport d'expertise et d'une note de positionnement du CRPF Hauts-de-France à destination des services de l'État (DRAAF), apportant des prescriptions techniques et réglementaires de gestion de crise.	CRPF Hauts-de-France

La chalarose du Frêne en France, exemple du Nord et du Pas-de-Calais

2016 Sécurisation des forêts publiques	Fermeture des forêts au public : 350 km de routes forestières ont été sécurisées. Difficultés : surcharge de travail pour les équipes. La déclaration de crise a permis de mobiliser des renforts (3 bûcherons et un technicien).	ONF Hauts-de-France
2016 Communication grand public	Importante communication, en particulier liée à la fermeture des forêts domaniales : communiqués de presse, rencontre des élus...	ONF Hauts-de-France
2016 Mise en place d'aides publiques	Aides à la reconstitution des peuplements sinistrés et au renouvellement anticipé des PSG en situation d'obsolescence du fait de la chalarose en forêt privée.	État, ADEME, Région Hauts-de-France
2016 Estimation des surfaces à reconstituer en forêt publique	Mise au point d'un protocole pour cartographier les surfaces à reconstituer sur les parcelles prévues à l'état d'assiette pour l'année en cours (figure 5). Tous les Frênes sont coupés sur les surfaces en contenant moins de 7 m ² /ha. Ces surfaces font l'objet d'une expérimentation de reconstitution par placeaux : 50 placeaux/ha de 9 plants à 1 m de distance. Rythme : environ 100 ha/an.	ONF Hauts-de-France
Juin 2017 Avancée des connaissances	Publication de rapports d'étape.	Projet Chalfrax
2017 Guide de Gestion ONF	Publication du guide national : <i>Les frênaies chalarosées, guide de gestion</i> .	ONF
2018-2019 Développement d'outils d'aide au diagnostic et à la décision	Développement de typologies de diagnostic. Élaboration d'un protocole de terrain standardisé. Conception de fiches d'itinéraires techniques.	Projet Chalfrax
2019 Elaboration de la stratégie nationale	Projections économiques (impacts sur la productivité, circuits de valorisation économique, évaluation des capacités des marchés du Frêne) Modélisation du risque. Articulation des prescriptions selon contextes géographiques, socio-économiques, stationnels, sylvicoles et infectieux.	Projet Chalfrax
2019 Stratégie de reconstitution en forêt publique	Abandon de la méthode de reconstitution par placeaux au profit d'une méthode coupe rase puis décompactage et plantation en plein.	ONF Hauts-de-France
2017-2020 Plan de communication et déploiement de la stratégie nationale Chalfrax	Restitution-diffusion des connaissances (dossier dans la revue Forêt-entreprise, site internet, lettre d'information). Édition d'un guide national délivrant la stratégie Chalfrax. Promotion et valorisation par des opérations de communication (colloque de clôture du projet, dossier de presse, plans de formations...).	Projet Chalfrax

- Le DSF a bien joué son rôle : la maladie a été détectée rapidement et les premières préconisations diffusées très tôt.
- Bonne implication de la recherche qui a joué un rôle fondamental dans la compréhension du phénomène.
- Bonne communication de la part de l'ensemble des acteurs qui a permis une bonne sensibilisation du grand public ainsi que des gestionnaires et propriétaires.
- Implication inédite des acteurs de l'aval de la filière au profit de la gestion de crise (expertise des impacts, de la ressource et des projections économiques paramétrant la stratégie).

Difficultés et points d'amélioration

- La maladie, dont le cycle de reproduction et l'impact étaient inconnus à son arrivée, s'est propagée rapidement. Recherche et gestion de crise ont dû être menées de front. Certains peuplements étaient déjà très touchés avant que la recherche ne puisse apporter de réponses pratiques. Cela a poussé les gestionnaires à agir sur le terrain avec les résultats partiels disponibles et selon des approches empiriques.
- La communication entre forêt publique, forêt privée et les services de l'État aurait pu être plus efficace : il n'y a pas eu de cellule de crise multi-partenaires et deux guides de gestion différents seront disponibles pour les frênaies charalorsées (celui de l'ONF et celui du programme Chalfrax).
- Si la vente des bois de qualité n'a pas posé problème (export vers l'Asie), la saturation du marché de bois-énergie n'a permis d'écouler qu'une petite partie des bois de faible qualité.



- Zones où la présence d'autres essences feuillues permet une sylviculture alternative
- Zones en attente, avec une strate bien homogène de bois blancs
- Zones prioritaires à reconstituer

Figure 5 : Cartographie finale après phase de diagnostic d'une forêt domaniale.

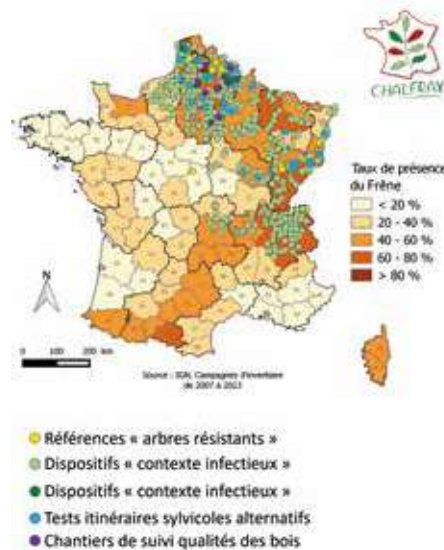


Figure 6 : Chalfrax = 411 dispositifs et références de terrain suivis + 16 800 Frênes expertisés + 12 rapports scientifiques et techniques alimentant les connaissances au niveau national.



FICHE N°7

Le Puceron lanigère sur Peuplier (*Phloeomyzus passerinii*)

Depuis le milieu des années 1990, certaines peupleraies françaises subissent des attaques de Puceron lanigère sur les troncs des arbres : des mortalités importantes peuvent en découler.

Rédacteur : Eric Paillassa (CNPf-IDF)
Contact : eric.paillassa@cnpf.fr

En l'état actuel des connaissances, les cultivars les plus vulnérables sont le I214 et le Triplo qui peuvent subir de fortes attaques avec des pertes de croissance, voire une mortalité rapide des peuplements touchés. Le Dorskamp peut aussi être attaqué avec des mortalités de peuplements dans certaines régions.

D'autres cultivars tel que le Blanc du Poitou, le I45/51 ou le Polargo sont également attaqués, mais sans présenter de mortalités.

Les peupleraies atteintes ont les caractéristiques suivantes :

- circonférence moyenne supérieure à 80 cm (diamètre 25 cm), avec début de fermeture du couvert,
- bonne croissance, vigueur, sur stations favorables au Peuplier.

La présence d'insectes en colonies recouvrant les troncs en cours de printemps ou d'été entraîne des dommages. Cependant, les pullulations automnales sont généralement les plus dommageables pour l'avenir du peuplement, et cela dès le printemps suivant.

La lutte curative contre le Puceron nécessite un traitement insecticide depuis le sol au canon pulvérisateur, lorsque plus de 30 % de la hauteur des troncs est infestée. Le traitement peut nécessiter d'être renouvelé dans l'année, une à deux fois.

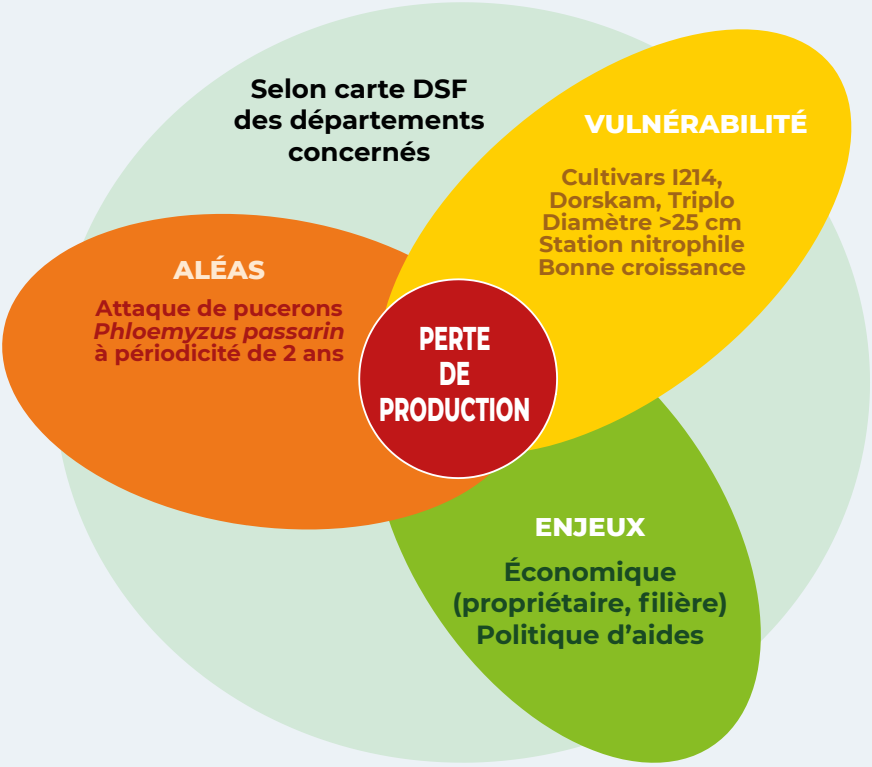
Conséquences économiques

L'absence ou l'échec d'un traitement peut être lourd de conséquences. En effet, une attaque de Puceron peut décimer une peupleraie en quelques mois : en règle générale, ce n'est que l'année

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Puceron lanigère sur Peuplier

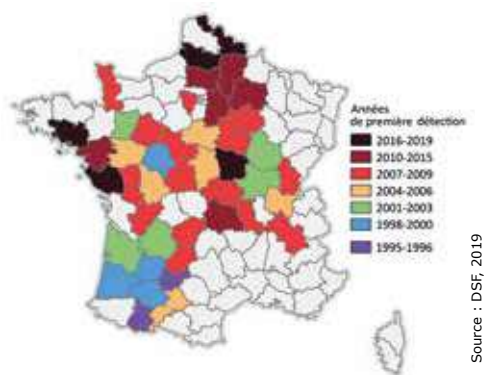
- ☐ Crise déclarée
- ☐ Cellule de crise
- ☒ Sortie de crise
- ☐ Retour à l'équilibre
- ☐ Aménagements modifiés



- Suivi permanent de l'extension géographique par le DSF
- Lancement programmes de recherches sur le ravageur et la vulnérabilité des cultivars



- Pas de suivi des surfaces et volumes impactés
- Pas de crise déclarée



Source : DSF, 2019

Figure 1 : Années de présence repérée du Puceron lanigère par département.

suivant l'attaque que l'on mesure réellement l'ampleur des dégâts. Cependant, il est impensable que toutes les peupleraies puissent être traitées à temps, par manque d'appareils de traitement et bien souvent d'accessibilité aux parcelles. Des mortalités dans des peuplements pas encore mûrs ont donc lieu. Une perte de bois pour la filière est alors inévitable.

Si la peupleraie est atteinte à maturité et l'exploitation réalisée rapidement, le bois peut être valorisé de façon à peu près satisfaisante. Toutefois, l'expérience 2008 a montré une saturation du marché local du Peuplier en Pays de la Loire.



© F. Barbotin

Figure 2 : Peuplement de Dorskamp atteint en 2008.

Si la peupleraie est atteinte bien avant maturité, il faut récolter alors que le volume est insuffisant. La perte financière est dans ce cas importante.

La seule solution envisageable pour traiter durablement cette crise sanitaire est l'amélioration génétique et la plantation de cultivars peu ou pas sensibles au Puceron lanigère.

Les facteurs déclenchants

- Les facteurs déclenchants ne sont pas connus ; le seul véritable facteur prédisposant identifié est la sensibilité propre de chaque cultivar.
- Bien qu'observées de longue date en Italie (1934) et en Espagne (1940), les pullulations de Puceron lanigère sont survenues relativement tardivement en France. L'émergence récente de ce ravageur, pourtant connu dans notre pays depuis plus d'un siècle, serait la conséquence combinée du réchauffement climatique, favorisant l'explosion des



© DSF / O. Baubet

Figure 3 : Feutrage de Puceron sur tronc de Peuplier.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Aucune
Expertise de personnes référentes	Expertise du Département de la santé des forêts (DSF) mais peu d'experts nationaux en début de crise.
Taux de produits accidentels récoltés par rapport à la récolte normale	Faible sur l'ensemble des Peupliers.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion (PSG)	Très faible car : ■ peu de peupleraies sous PSG (propriétés de faible surface) ■ attaques intervenant dans une période proche de l'exploitation normale.
Extension géographique	Établissement d'une carte de France des départements atteints.
Proportion du capital sur pied atteint	Variable, non estimé pour la crise.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers	Facteur "cultivar sensible" identifié.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Perturbations observées sur la ressource de la filière populicole française.

NB : aucun critère quantitatif global n'est disponible concernant ce phénomène émergent. L'entrée en crise repose donc sur des éléments issus d'expertises.

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

En 2019, cette crise est considérée comme terminée, mais la vigilance reste permanente.

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés par rapport à la récolte normale	Très faible, presque nul.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à un plan simple de gestion (PSG)	Très faible car : ■ peu de peupleraies sous PSG (propriétés de faible surface) ■ attaques interviennent dans une période proche de l'exploitation normale.
Expertise de personnes référentes	Forte. Recherches scientifiques en cours sur la biologie et l'épidémiologie du ravageur.
Retour à nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre d'avant crise	Différent avec exploitation et non replantation des cultivars sensibles, et vigilance accrue sur les nouveaux cultivars.

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
1995 Apparition du phénomène	Premiers dégâts constatés en Midi-Pyrénées sur I214.	DSF, CRPF
1997-2003 Premiers traitements	Présence et dommages importants en Vallée de la Garonne avec une périodicité de 2 ans. Développement et mise en œuvre de méthodes d'évaluation et de traitement.	DSF, CRPF, Coopératives
2002-2003 Premières récoltes de peuplements	Premiers dégâts importants en Midi-Pyrénées et Bourgogne.	DSF, CRPF
	Premières récoltes significatives de peuplements atteints.	Exploitants et propriétaires
2004-2006 Poursuite des attaques	Période de moindre présence dans le Sud-Ouest alors qu'en Bourgogne on assiste à diverses attaques. Récoltes des parcelles dépérissantes.	Exploitants et propriétaires
	Ralentissement des plantations de I214 en Bourgogne.	CRPF
	Article dans la revue <i>Forêt-entreprise</i> . Réunions d'information pour les propriétaires.	DSF, IDF, CRPF
2007 Mise en place d'un suivi sur placettes	Première année de mise en œuvre d'un suivi permanent par le réseau des correspondants-observateurs : bon fonctionnement du réseau pour sa phase d'alerte. 70 % des placettes sont attaquées, dont 30 % fortement.	DSF, CRPF, ONF
	Attaque massive en Sud-Ouest, Nord-Ouest et Bourgogne. Poursuite des exploitations des parcelles attaquées.	Exploitants et propriétaires
	Lancement d'un programme national de recherche.	Université d'Orléans
2008 Augmentation des coupes de peuplements atteints	Conséquences de l'attaque de 2007 : 8 exploitants de Pays de la Loire et Bourgogne ont exploité 677 ha de I214 en urgence suite aux attaques de Pucerons. Fortes mortalités sur Dorskamp.	Exploitants et propriétaires IDF, DSF, CRPF, ONF
	Vallée de la Garonne, Bourgogne et Pays de Loire sont les secteurs les plus contaminés.	
	Suppression de 3 cultivars (I214, Dorskamp, Triplo) dans la liste des cultivars éligibles pour le Sud-Ouest et la Bourgogne.	Ministère de l'Agriculture, Organismes de recherche, Conseil national du Peuplier, IDF
	Réunion d'information en Pays de la Loire (groupe de travail peuplier de l'IDF).	IDF

2009 Poursuite des actions de surveillance	Article d'information dans la revue Forêt-entreprise.	IDF
	Surveillance DSF. Présence automnale en Bourgogne et Nord-Ouest.	DSF, CRPF, ONF
2010-2019	■ Arrivée progressive du Puceron sur l'ensemble du territoire. ■ Poursuite des attaques sur I214, Triplo et Dorskamp, mais avec une réduction des fortes pullulations. ■ Des attaques sur d'autres cultivars (Polargo, Flévo), mais sans mortalité.	DSF, CRPF
Recherche	Développement d'une méthode d'évaluation rapide de la sensibilité des cultivars au Puceron lanigère en laboratoire, sur boutures (2011), publiée ensuite dans le règlement technique peuplier (2013).	Université d'Orléans
Communication	Publication d'un article dans la revue Forêt-entreprise listant les sensibilités de cultivars testées en laboratoire ou observées sur le terrain (Sallé, Maison & Baubet, 2015).	Université d'Orléans, DSF, DRAAF Pays de la Loire
Adaptation de gestion	Retrait du produit de traitement Pirimor (2016).	DSF
	Récoltes régulières et normales des parcelles avec les cultivars sensibles, et, en 10 ans, très forte chute des surfaces plantées avec ces cultivars : I214 (- 70 %), Triplo et Dorskamp (- 90 %). Conséquence : baisse des surfaces de peupleraies sensibles au ravageur.	Exploitants et propriétaires CRPF, IDF
	Diversification des cultivars en 10 ans : en 2009, 90 % des plantations réalisées avec 12 cultivars contre 17 en 2018.	IDF, CRPF

effectifs de Puceron, et la composition paysagère, dominée par des cultivars sensibles.

- Le Puceron lanigère est un parasite de vigueur et les dégâts sont souvent plus sévères dans les peuplements à forte croissance.

Bilan général

La crise sanitaire "Puceron lanigère" s'est développée progressivement au cours des années 1995-2004. À partir de 2005, les dégâts et les récoltes sanitaires ont augmenté très fortement, incitant à réduire drastiquement les surfaces plantées en I214.

Suivi du phénomène

Les diagnostics réalisés suite aux premiers signalements ont permis de suivre l'extension géographique du ravageur depuis 1995. La mise en place d'un suivi permanent par le Département de la santé des forêts a permis de mieux localiser et quantifier le phénomène.

Impact sur la production de Peuplier

La prise de conscience du problème par la profession a été rapide, dès 2002, dans les régions les plus touchées (Midi-Pyrénées, Aquitaine, Bourgogne). À partir de 2006, toutes les régions ont été sensibilisées.

Un suivi difficile des surfaces atteintes et des volumes récoltés

Aucune compilation des surfaces et des volumes récoltés n'a été menée hormis celle réalisée par l'IDF auprès de 8 exploitants pour le seul cultivar I214 : en 2008, 677 ha de I214 pour 99 000 m³ ont été récoltés. La labellisation de cette crise est donc délicate, au regard des critères identifiés par le présent guide (voir chapitre 4).

Une adaptation des politiques d'aides

Les décisions prises concernant la modification de la liste régionalisée des cultivars éligibles aux aides de l'État en juin 2008 ont été, pour les acteurs forestiers, un signal fort et porteur de l'ampleur de la crise.

Début 2010, la situation était la suivante :

- une crise sanitaire bien identifiée et reconnue ;

- des méthodes de gestion des parcelles touchées maîtrisées (surveillance, traitement chimique, attente d'exploitation, exploitation en urgence) ;
- des premiers résultats de la recherche sur la biologie du ravageur et la différenciation de la sensibilité entre les cultivars ;
- en revanche, une prévention balbutiante faute d'informations sur la sensibilité de tous les cultivars de remplacement et sur la biologie et l'épidémiologie du ravageur. Même si des recherches ont été lancées, les réponses attendues par la profession demanderont du temps : ce décalage met en difficulté la filière populicole qui peut hésiter à investir dans des plantations dont le risque lié aux attaques de Puceron est inconnu.

Début 2020, la situation est la suivante :

La crise est passée et le risque s'éloigne.

Cette situation est due au fait que, dans le cadre du fonctionnement normal de la filière, les peupleraies sensibles sont progressivement exploitées et que les cultivars sensibles sont écartés très majoritairement des replantations, avec une diversification accrue des cultivars utilisés.

Il est à signaler que l'option traitement chimique a largement été abandonnée pour des raisons d'efficacité et de logistique.

La vigilance reste cependant importante : elle est assurée par le DSF à travers un suivi spécifique Peuplier réalisé chaque année. L'évaluation de la sensibilité des cultivars actuellement utilisés est insuffisamment satisfaisante, car des doutes subsistent.



O. Baubet © DSF

Figure 4 : Tronc de peuplier atteint.



FICHE N°8

Le dépérissement des résineux dans le Tarn et l'Aveyron, suite à la sécheresse et canicule de 2003

Dans les départements du Tarn et de l'Aveyron, la surface des reboisements de résineux couvre de grandes surfaces, avec notamment 19 000 ha d'Épicéa et 23 000 ha de Douglas. La plupart de ces boisements, installés depuis les années 1950 grâce au Fonds forestier national, sont âgés de moins de 60 ans.

Rédacteur : Jean-Pierre Ortisset (CRPF Occitanie)

Contact : pascal.mathieu@cnpf.fr

Principaux phénomènes observés

Un phénomène de mortalité a démarré, suite à la canicule de 2003, dans les massifs de résineux du Tarn et de l'Aveyron. Les phénomènes observés ont été principalement :

- Attaques importantes de Scolytes sur Épicéa ;

- Dessèchement de cime pour le Douglas, sans agents pathogènes ;
- Disparition totale du Sapin de Vancouver.

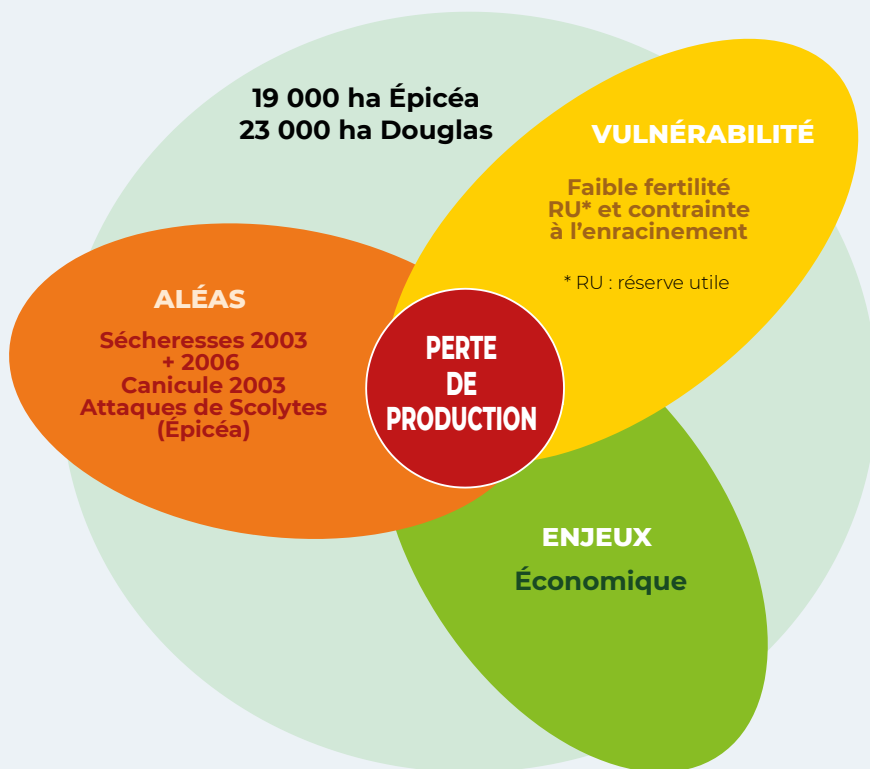
Les facteurs déclenchants ; les indicateurs d'entrée en crise

Le facteur déclenchant a été climatique : la sécheresse et la canicule exceptionnelle de 2003 se sont traduites dès l'automne

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Dépérissement résineux dans le Tarn et l'Aveyron post 2003

- ☐ Crise déclarée
- ☐ Cellule de crise
- ☒ Sortie de crise
- ☐ Retour à l'équilibre
- ☐ Aménagements modifiés



- Mise en place réseau d'observation
- Coordination et réactivité (propriétaires, coop, exploitants, débardeurs)
- Programme de recherche (DRYADE)
- Extension géographique évaluée par télédétection



- Pas d'objectivation de la crise
- Pas de cellule de crise

par des mortalités dans les sapinières de Vancouver du sud de l'Aveyron et le dessèchement des cimes de Douglas notamment pour des peuplements introduits à très basse altitude (voir carte p. 27).
Le graphique (Figure 1) permet de comparer les diagrammes ombro-thermiques de la station de Lacaune (800 m d'altitude)

pour la période 1951-1977 à celui de l'année 2003 ; il fait apparaître une période sèche de 2 mois.
La densité forte des peuplements, insuffisamment éclaircis, a probablement constitué un facteur de vulnérabilité à la sécheresse.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Sans objet.
Expertise de personnes référentes	Alerte du Département de la santé des forêts.
Taux de produits accidentels récoltés	Connu en forêt publique (2003-2006) ■ 624 ha coupes exceptionnelles ■ 200 ha coupes partielles
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	2003-2006 : ■ 350 coupes urgentes (1 750 ha) ■ 260 ha coupes d'anticipation
Extension géographique	Déterminée par télédétection MODIS.
Proportion du capital sur pied atteint	-
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	Non connu en début de crise ; a mobilisé la recherche scientifique pour le Douglas .
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Potentiellement forte.

Les critères de fin de crise (voir chapitre 8)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	Forte diminution dès 2007.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	Forte diminution dès 2007.
Expertise de personnels référents	
Retour à nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré-crise	Nouvel équilibre car éradication de la majorité des peuplements d'Épicéa et Sapin de Vancouver.

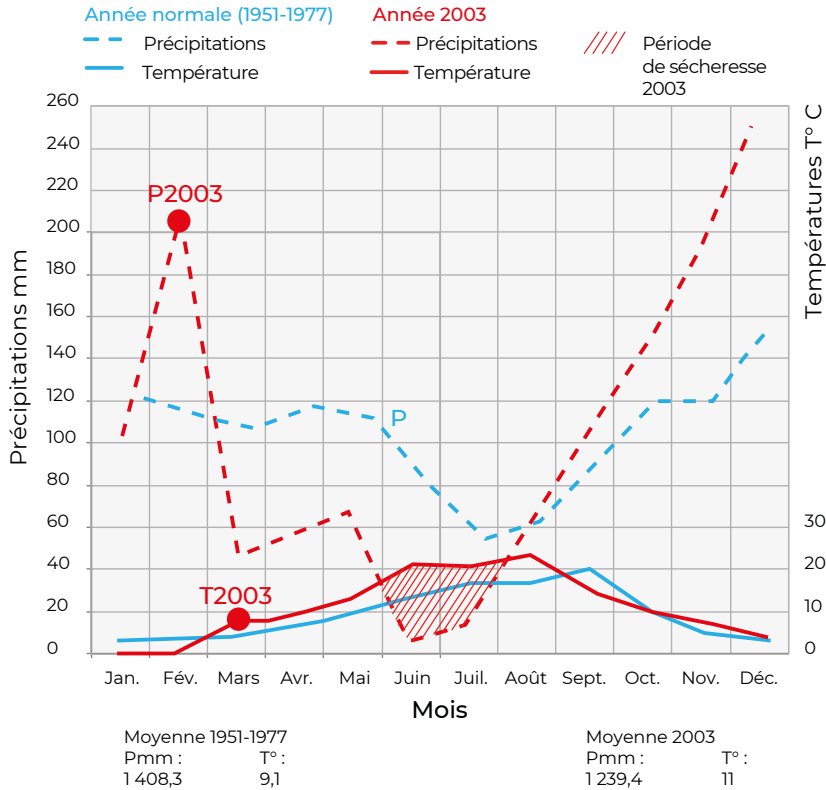


Figure 1 : Diagramme ombrothermique de Lacaune (Tarn ; altitude 800 m).

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
Printemps-été 2003	Sécheresse précoce et longue Canicule exceptionnelle : record de chaleur à Albi (81) 42°C.	
Automne 2003 Premières récoltes de peuplements	Premières coupes urgentes (150 ha) dont : ■ 90 ha d'Épicéa (Tarn) ■ 60 ha de Sapin de Vancouver (Aveyron)	CRPF ONF FORESTARN (coopérative) DSF
Année 2004 Augmentation des récoltes	Poursuite des coupes urgentes (390 ha) dont : ■ 190 ha d'Épicéa, ■ 20 ha de Douglas, ■ 180 ha de Sapin de Vancouver	CRPF FORESTARN ONF DSF

2005 L'année « catastrophe »	770 ha de coupes nouvelles : ■ 550 ha d'Épicéa dans le Tarn, ■ 220 ha dans l'Aveyron, dont 100 ha de Sapin de Vancouver	CRPF FORESTARN ONF DSF
	■ Le volume mobilisé par Forestarn a doublé ! ■ Fort investissement des exploitants en matériel d'exploitation : 80 % de la récolte est mécanisée. ■ Atout fort : bonne tenue du cours des bois en 2005-2006.	
	Réalisation d'enquêtes foncières : identifier les propriétaires ; constituer des lots importants de bois.	
Année 2005 Installation de placettes d'observation	■ 37 placettes d'observation et de notation de Douglas ■ 31 placettes de suivi de dégâts de typographe sur Épicéa	CRPF DSF
Février 2006 Commande d'une étude par la DRAAF - Serfob	Objectifs : ■ cartographier les atteintes par télédétection ; ■ identifier les modifications à apporter aux documents d'objectifs en cours ou en préparation (DRA-SRA ; SRGS) ; proposer une alternative à l'Épicéa. ■ rechercher les provenances de Douglas les mieux adaptées (commande aux organismes de recherche).	École d'Agriculture de Purpan (EIP) ONF CRPF
Année 2006 Baisse des récoltes	440 ha sont récoltés en coupes urgentes (90 % en Épicéa commun, dans le Tarn en forêt privée).	CRPF - DSF FORESTARN
	Maintien et suivi du réseau de 68 placettes d'Épicéa et de Douglas (poursuite en 2007 et 2008).	CRPF
Janvier 2007 Rendu étude télédétection (1^{re} tranche)	Évaluation des coupes urgentes réalisées. Rendu cartographique des boisements résineux à activité végétale en baisse.	CRPF EIP ONF
Février 2007 Colloque à la Maison de la Forêt du Tarn	Colloque à l'initiative de la Maison de la Forêt du Tarn, regroupant les organismes de recherche et de gestion : ■ INRA ■ CEMAGREF ■ FCBA ■ société VILMORIN Proposition de thèse formulée par l'INRA : causes du dépérissement et facteurs de vulnérabilité du Douglas ; réponses de provenances de Douglas à la sécheresse.	CRPF DSF INRA ONF FORESTARN
Été 2007	■ Mise en place d'une surveillance des tas de bois Épicéa en forêt ; CRPF = maître d'ouvrage, a distribué les aides obtenues ; 56 000 m³ contrôlés. ■ Il n'y a pas eu d'arrêté préfectoral d'éradication obligatoire des foyers dans le Tarn : mise en œuvre jugée difficile et peu efficace. ■ Pas de modifications de PSG : coupes faites sur dérogations (coupes d'urgence + coupes extraordinaires).	CRPF ONF FORESTARN DSF Société SUD ABIES Exploitants et débardeurs
Année 2007 Baisse des récoltes	380 ha récoltés essentiellement dans le Tarn et en Épicéa.	CRPF - ONF FORESTARN

Automne 2007 Démarrage thèse INRA-IDF Suivi de plantations récentes de Douglas	Démarrage thèse INRA dans le cadre de l'ANR DRYADE : ■ facteurs de vulnérabilité du Douglas ; ■ réponses provenances de Douglas aux aléas climatiques récents dans les plantations comparatives anciennes de l'INRA.	INRA IDF CRPF
	28 plantations (origine essentiellement Luzette et Darrington) ont été analysées.	CRPF
2008 Rendu étude télédétection (2 ^{ème} tranche)	Extension de l'analyse télédétection aux années 2006 et 2007. Conclusions : ■ remontée de l'activité foliaire printanière mais sans encore atteindre l'état de référence antérieur à 2003 ; ■ surfaces en déficit significatif d'activité foliaire printanière encore importantes : 10 000 ha (½ Épicéa ; ½ Douglas) ; ■ création d'une base de données avec liaison SIG : placettes d'observation, coupes urgentes, résultats issus de la télédétection.	CRPF ONF EIP
Hiver 2008-2009 Étude des systèmes racinaires du Douglas	Étude des racines de Douglas et des réserves utiles des sols. Mise en liaison avec les notations de dépérissements et la croissance radiale. Constat : nombreux systèmes racinaires affectés par des pourritures attribuées au Fomès.	IDF CRPF INRA
Printemps 2009	Nouvelles orientations de choix d'essences dans les directives et schémas régionaux (DRA, SRA, SRGS).	CRPF ONF
Prévision 2010	Projet de rédaction d'un guide pour les choix des essences forestières issu des modifications des directives et schémas régionaux. Achèvement des travaux de thèse INRA.	CRPF - ONF Parc naturel régional du Haut-Languedoc INRA - IDF

Bilan général en 2010

Ampleur du phénomène :

Globalement, fin 2008, ce sont environ 2 000 ha de coupes rases présentant un caractère d'urgence qui ont été réalisées.

NB : en 2006, 250 ha de forêt privée ont été récoltés selon la procédure de coupes extraordinaires, un certain nombre de propriétaires particulièrement touchés par des dépérissements ayant préféré anticiper la récolte de peuplements. Le CRPF ne s'est pas opposé à ces demandes car limitées et ne mettant pas en péril les cours des bois.

Les surfaces récoltées ont concerné :

- 65 % d'Épicéa commun quasiment toujours attaqué par le typographe,
- 10 % de Douglas, sec sur pied, sans présence de parasites sous-corticaux,



Jean-Pierre Ortisset © CNPF

Figure 2 : Peuplement d'Épicéas scolytés Compiègne.

■ 25 % de Sapin de Vancouver, avec invasion rapide par l'Armillaire.

Efficacité des actions menées :

■ La bonne réactivité des acteurs forestiers (propriétaires, coopérative, CRPF, ONF, exploitants et débardeurs), coordonnés par la Maison de la forêt du Tarn, a permis la récolte des bois au fur et à mesure de l'évolution des dépérissements : 900 000 m³ ont été récoltés de 2003 à 2007, avec un pic en 2005 (300 000 m³).

■ Le suivi des bois d'Épicéa stockés en forêt en 2007, leur enlèvement rapide et le traitement à l'insecticide de quelques tas présentant un risque (moins de 15 % du volume suivi) ont sûrement participé au déclin de l'épisode de contamination des peuplements.

■ La création d'une base de données commune permettra de quantifier plus rapidement dans le futur l'ampleur de phénomènes similaires et d'envisager éventuellement la mise en œuvre de mesures curatives comme les traitements des tas de bois si nécessaire.

■ L'analyse des réponses des couverts obtenues par télédétection, croisées avec un modèle numérique de terrain, a permis d'identifier des limites altitudinales différenciées selon les essences : cette analyse a conduit à modifier les préconisations concernant les choix d'essences des documents directeurs.

Action de recherche engagée :

Thèse INRA – IDF (programme DRYADE) :

■ facteurs de vulnérabilité sylvicole, écologique, historique, phytosanitaire du Douglas au dépérissement, quantification des sécheresses par bilan hydrique et analyse rétrospective conjointe de la croissance des peuplements ;

■ mobilisation des plantations comparatives de provenances anciennes de l'INRA pour quantifier les réponses différentielles aux aléas climatiques récents.

Le point début 2020 : une crise qui soulève bien des questions

La crise est terminée mais un dépérissement diffus continue

On peut considérer que la crise s'est terminée en 2008 : l'intensité des dépérissements a fortement diminué. Cependant la dégradation des peuplements d'Épicéa commun continue avec la multiplication de petits foyers de Scolytes, sans toutefois atteindre de grandes surfaces. Les Sapins sont aussi affectés par des attaques d'insectes et plusieurs peuplements de Pins adultes ont été détruits par les effets secondaires de fortes grêles. En ce qui concerne les Douglas, les dépérissements disséminés continuent, ainsi que la dégradation des houppiers en zones limites. L'omniprésence du Fomes est confirmée à tous les stades pour la plupart des résineux implantés, du jeune plant à l'arbre adulte. Leur vulnérabilité à ce pathogène demeure préoccupante.

Aucune fin de crise n'a été déclarée (il n'existait pas de cellule de crise). Le suivi des coupes d'urgence ou des volumes sanitaires n'est plus effectué, seuls les bilans annuels du DSF permettent un suivi de l'état sanitaire.

Questions soulevées par la crise

Cette crise a montré les limites de certaines essences. L'Épicéa de Sitka et le Sapin de Vancouver par exemple ne sont plus adaptés aux stations du Haut-Languedoc. Le boisement en Épicéa commun n'est plus envisageable sur de grandes

surfaces et doit être restreint aux altitudes élevées (minimum 800 mètres), sur des stations présentant des facteurs de compensation (versants nord, sols épais...).

D'autres questions soulevées (adaptation et sensibilités des essences) ont fait l'objet de nombreuses études dans les années qui ont suivi la crise ([tableau ci-contre](#)).

Les résultats pourtant concordants de ces différents travaux n'ont pas encore

été suffisamment intégrés dans les choix d'essences et la gestion des peuplements existants au niveau local. Le Fonds carbone régional impose par exemple la rédaction d'une fiche de description de station, mais pas son analyse. Elle serait pourtant indispensable pour pouvoir effectuer un choix d'essence correct, après diagnostic du CRPF et discussion avec gestionnaire et propriétaire.

Les différentes études menées suite à la crise sanitaire post 2003

2013 Stage de master	Caractérisation des limites pédoclimatiques du Douglas sur le Haut-Languedoc (Tarn notamment) : ■ altitude < 500 m : défavorable ; ■ 500 m ≤ Altitude < 700 m : limite selon le bilan hydrique climatique estival et les facteurs de compensation ; ■ altitude ≥ 700 m : favorable.	Bordeaux Sciences Agro, PNR HL, CRPF MP et LR
2013-2014 Projet FORRISK Stage de master	Évaluation de l'impact du Fomès sur Douglas. Omniprésence du champignon : près de la moitié des arbres observés en sont porteurs. Le lien avec l'état des houpiers n'est pas directement établi mais sa présence affecte le système racinaire et augmente la vulnérabilité des arbres.	CNPF-IDF Université de Lorraine, AgroParis-Tech
2015 Guide de diagnostic stationnel	« Le Haut-Languedoc en 50 sols forestiers » (épuisé, en cours de réédition).	CRPF MP, PNR HL
2018 Réseau CRPF de placettes Douglas	Redéploiement du réseau CRPF pour couvrir les autres départements du Sud Massif Central. Ce suivi en continu permettra d'étudier la variabilité interannuelle de l'état sanitaire.	DSF CRPF
2019 Étude sur la réussite de plantations	Étude sur 126 plantations de 3 à 7 ans (plus de 10 000 plants). Le taux moyen de réussite à cet âge est de 78 %. Les causes de mortalité des plants sont multiples. Il n'est pas possible de chiffrer directement l'impact des canicules-sécheresses, mais il apparaît clair qu'elles accélèrent la mort de plants affaiblis par un autre facteur.	CRPF, DSF, Syndicat des forestiers privés du Tarn
2016-2019 Projet LIFE FORECCAsT	■ Édition du guide "Gérer les crises liées au changement climatique en forêt du Haut-Languedoc" (Bec, 2018). ■ Étude des sols (100 fosses) pour améliorer l'estimation de la réserve utile et son lien avec le risque de dépérissement. ■ Installation d'essais (arboretum, plantations mélangées...) ■ Application mobile FORECCAsT by BioClimSol qui permet des diagnostics de risques sur le terrain.	PNR HL, CNPF, Alliance Forêt Bois

FICHE N°9

Le dépérissement du Sapin pectiné dans les Alpes du Sud

La forêt représente 60 % du territoire des Alpes-Maritimes. Le Sapin pectiné y occupe 9 400 ha principalement en forêt publique et majoritairement en forêt communale. Depuis les années 1990, on observe un dépérissement de cette essence sur certaines communes. Suite à l'été 2003, ce phénomène s'accélère. Il touche environ 500 ha en 2005 dans les Préalpes grassoises et le Mercantour. Des actions partenariales sont mises en œuvre au niveau départemental : exploitation avec une aide du Conseil départemental, travaux de régénération et de plantation, mise en place d'un observatoire départemental du dépérissement...

Rédacteur : Louise Brunier (CNPf)

Contact : jean.ladier@onf.fr

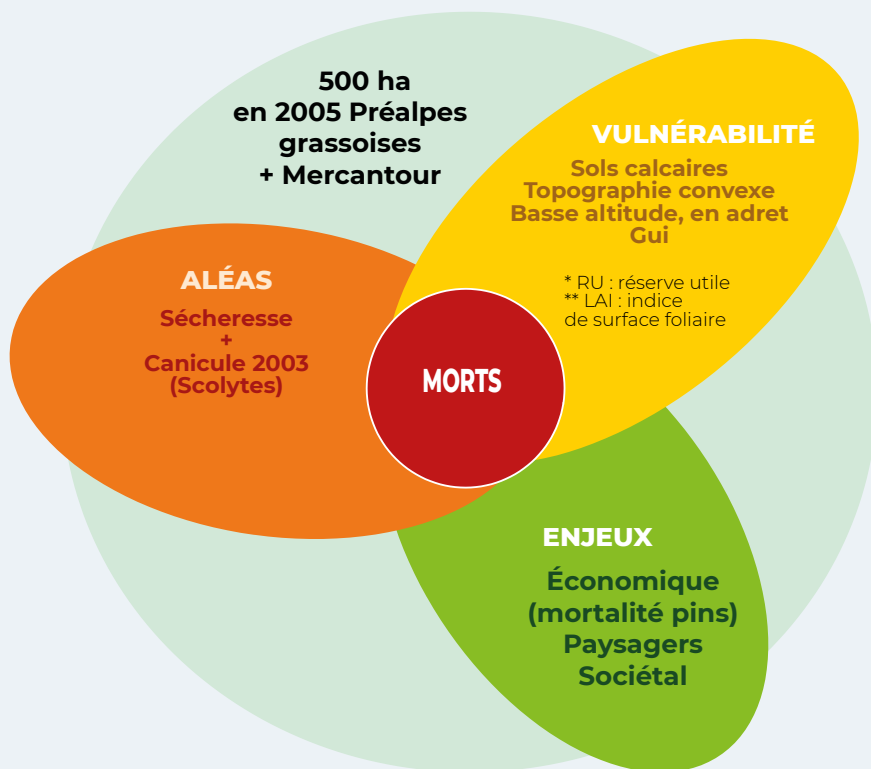
Les premiers dépérissements massifs sont signalés à partir de 2004 par les opérateurs de terrain. Des actions sont rapidement mises en œuvre pour valoriser les bois des peuplements dépérissants. Il s'agit également d'intervenir tôt pour éviter des pullulations de Scolytes (non impliqués dans les mortalités) qui pourraient accélérer le phénomène.

Les bois concernés sont globalement de qualité bois énergie/bois industrie dans les Préalpes grassoises et bois d'œuvre dans le Mercantour. Ils sont situés sur de fortes pentes, ce qui augmente les coûts d'exploitation. Les coupes réalisées sont fortes de manière à améliorer le bilan économique. Certains bois sont cependant laissés sur place, faute de débouché.

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Dépérissement du Sapin pectiné dans les Alpes du Sud

- ☐ Crise déclarée
- ☒ Cellule de crise
- ☒ Sortie de crise
- ☐ Retour à l'équilibre
- ☐ Aménagements modifiés



- Implication des pouvoirs publics/département
- Mise en place observatoire
- R&D ; compréhension du phénomène



- Pas de crise déclarée
- Arrêt de suivi des indicateurs en 2014

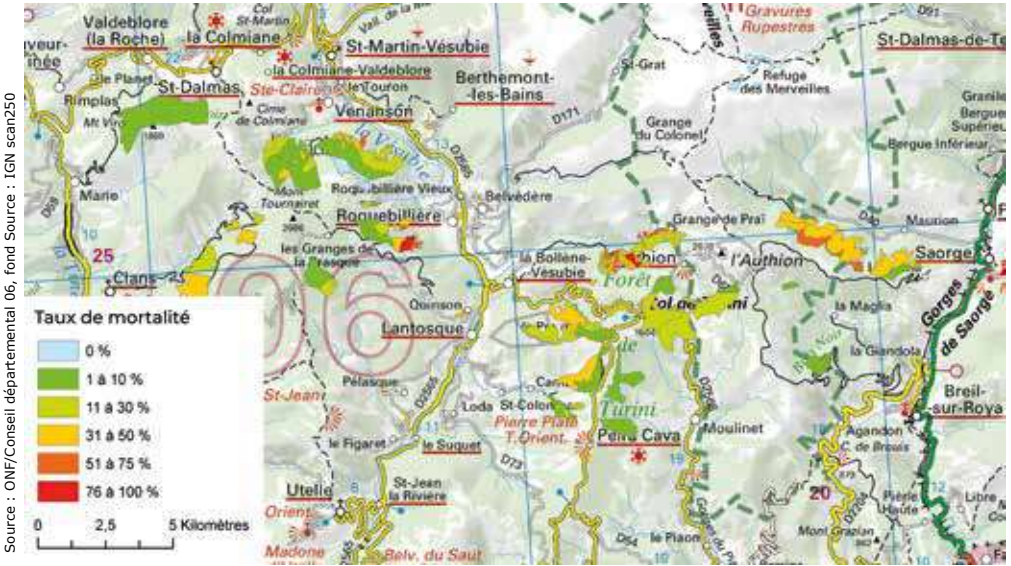


Figure 1 : Extrait de la carte du taux de mortalité cumulée de Sapin pectiné, réalisée en 2011.

Certaines coupes de bois verts prévues sont également reportées. Cette gestion de crise est menée en concertation avec les communes propriétaires. Les stratégies de gestion peuvent donc être différentes selon les forêts.

Étant donné les forts enjeux forestiers du territoire, l'urgence de la situation et les changements climatiques à venir, le département des Alpes-Maritimes met en place deux mesures en concertation avec l'association des communes forestières et l'ONF :

- une aide financière aux propriétaires pour l'exploitation des bois dépérissants ;
- un observatoire du dépérissement forestier pour connaître l'ampleur du phénomène, comprendre ses causes et en assurer le suivi.

Les causes du dépérissement

Le protocole de suivi mis en place à partir de 2008 a permis de révéler les causes des dépérissements. Les principaux facteurs

identifiés sont liés au stress hydrique subi par les arbres.

La sécheresse et la canicule de 2003 constituent les facteurs déclenchants et les sécheresses des étés suivants sont venues aggraver la situation. Des facteurs spatiaux ont été identifiés :

- à l'échelle du département, les peuplements des Préalpes sont les plus touchés en proportion (peu de sapinières) alors que ceux du Mercantour le sont le plus en surface (beaucoup de sapinières) ; les Préalpes se caractérisent par un climat plus contraignant, moins humide, ainsi que par des sols sur calcaire souvent superficiels et une forte présence du Gui ;
- à l'échelle du versant, les quelques sapinières d'adret sont particulièrement sensibles, tandis qu'en ubac les peuplements de basse altitude (en-dessous de 1300 m) sont les plus atteints et des dégâts sont visibles jusqu'à 1500 m ;

Zone géographique	Exposition	Altitude	Topographie locale	Vulnérabilité
Montagne	Ubac	> 1 600 m		très faible
		1 400 à 1 600 m	concave ou neutre	faible
			convexe	moyenne
		1 200 à 1 400 m		forte
		< 1 200 m	concave ou neutre	forte
			convexe	très forte
	Adret	> 1 600 m		faible
		1 400 à 1 600 m		moyenne
		1200 à 1 400 m		forte
		< 1 200 m	concave	forte
			neutre ou convexe	très forte
Préalpes	Ubac	> 1 300 m		forte
		< 1 300 m		très forte
	Adret			très forte

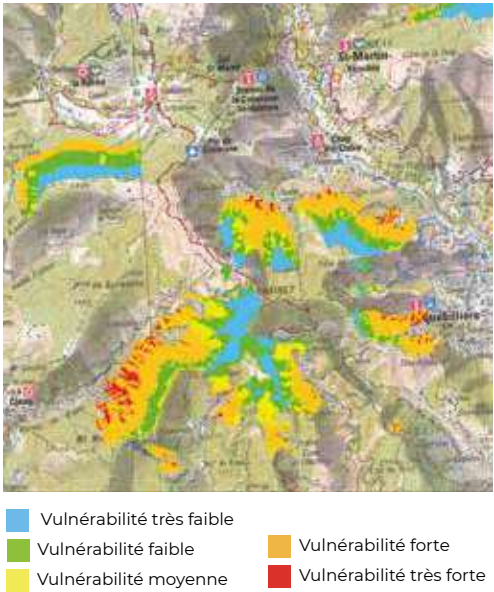
Source : ONF/Conseil départemental 06

Figure 2 : Clef d'évaluation de la vulnérabilité des peuplements de Sapin pectiné.

■ à l'échelle locale, en ubac et à altitude moyenne (entre 1 300 et 1 500 m), les topographies convexes sont défavorables (N.B. : En l'absence d'une carte des sols, les facteurs pédologiques n'ont pu être isolés. La topographie locale rend ici compte à la fois des écoulements latéraux et de l'épaisseur plus faible des sols sur les croupes).

Cette spatialisation du phénomène a permis de construire une clef d'évaluation du risque de dépérissement des sapinières (figure 2), laquelle a été déclinée sous forme de carte (figure 3).

On suppose également que l'âge avancé des sapinières est un facteur prédisposant.



Source : ONF/Conseil départemental 06, fond - Source : IGN scan 100

Figure 3 : Extrait de la carte de vulnérabilité du Sapin pectiné.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

Aucune crise sanitaire n'a été officiellement déclarée, même si les acteurs ont pour partie agi conformément à une situation de crise (exemple de l'activation d'un comité de suivi aux compétences transversales). D'après les critères suivants on peut cependant considérer que la crise sanitaire a démarré en 2004.

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Minime. Des chemins de randonnée ont été sécurisés.
Expertise de personnes référentes	Signalement des personnels de terrain de l'ONF à partir de 2004.
Taux de produits accidentels récoltés	Sur la période 2003-2009, les coupes de Sapin dépérissant ont représenté 38 500 m ³ et celles de Sapin non dépérissant 25 100 m ³ . Le taux de produits accidentels récoltés est supérieur à 50 % de la récolte normale (figure 5).
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	Aucune (très peu de Sapins en forêt privée).
Extension géographique	Environ 50 % des surfaces couvertes par le Sapin pectiné dans le département présentent des mortalités (d'après la cartographie de 2011).
Proportion du capital sur pied atteint	Les surfaces atteintes présentent un taux de mortalité moyen de 19 % en 2011. Dans les peuplements ayant fait l'objet d'une coupe, la proportion du capital sur pied atteint varie de 30 à 50 %.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	■ Climat moyen à l'échelle de la région naturelle : contrasté dans les Préalpes / humide dans l'arrière-pays niçois et le Mercantour. ■ Climat local révélé par le gradient d'altitude. ■ Sol : arbres plus vulnérables sur sols superficiels. ■ Gui : certains peuplements fortement infestés et affaiblis. ■ Ces facteurs avaient déjà été identifiés lors d'une étude autécologique (ONF, 2000).
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Plus grandes quantités de bois disponibles.



Figure 4 : Sapinière en forêt de Clans en 2011.

Le dépérissement du Sapin pectiné dans les Alpes du Sud

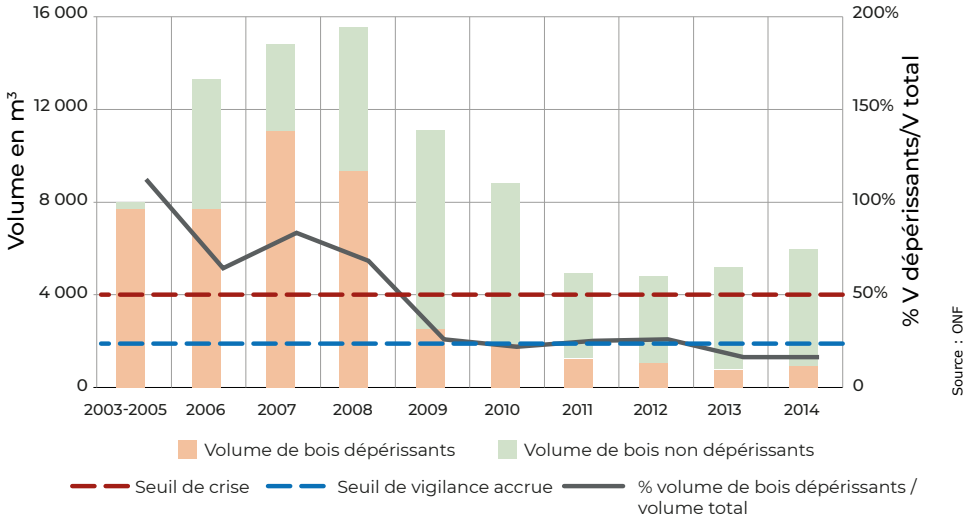


Figure 5 : Volume de Sapin récolté durant la crise et proportion de bois dépérissant

N.B. : le graphique ci-dessus intègre les données de commercialisation issues des principales forêts touchées à savoir Bas-Thorenc, Bleyne, Breil sur Roya, Caille, Clans, La Bollène Vésubie, La Brigue, Lantosque, Roquebillière, Roubion, Saint-Auban, Saint-Martin-Vésubie, Saorge, Sèranon, Venanson.

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

Aucune entrée en crise n'ayant été formellement déclarée, la sortie de crise n'est pas non plus officiellement identifiée. *A posteriori*, d'après les critères suivants, on peut considérer que la crise s'est terminée à partir de 2010 ; la vigilance est restée importante jusqu'en 2014.

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	En 2009, ce taux passe sous la barre des 50 % (seuil de crise en zone de montagne) (figure 5).
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	-
Expertise de personnels référents	En 2014, le suivi du phénomène n'est plus jugé utile par le Conseil départemental ; l'observatoire est arrêté.
Retour à nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré-crise	Équilibre différent : le Sapin pectiné est fragilisé et continue à dépérir début 2020 bien que de manière bien moindre. Une nouvelle gestion de cette essence prenant en compte le dépérissement est nécessaire.
Autre indicateur : état sanitaire des peuplements	Le déficit foliaire augmente jusqu'en 2013 et se stabilise en 2014.

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
1992 Premiers dépérissements	Exploitation de peuplements dépérissants et travaux de plantation en forêt communale de la Brigue.	ONF
1996-2000 Étude	Étude autécologique du Sapin pectiné en région PACA.	ONF
2003 Canicule et sécheresse	Canicule de l'été 2003, déficit hydrique persistant les années suivantes.	
2004 Premiers signalements	Les techniciens de terrain signalent des dépérissements massifs à basse altitude et plus diffus au-dessus de 1500 m.	ONF
2005 Aide à l'exploitation	Mise en place d'une aide à l'exploitation des bois dépérissants à hauteur de 15 €/m ³ .	Conseil départemental
2005 Colloque	Colloque organisé au Conseil départemental des Alpes-Maritimes pour communiquer et informer sur ces dépérissements. Relayé par les médias.	Communes forestières, INRA, DSF, Météo-France, ONF, Conseil départemental
2006 Comité de suivi	À l'initiative du Conseil départemental : création d'un comité de suivi chargé d'étudier les causes du dépérissement et d'en suivre l'évolution. Création d'un observatoire basé sur un protocole de suivi en 2 volets : ■ cartographie des mortalités (par observations des techniciens locaux) ; ■ suivi phytosanitaire des principales essences forestières (par placettes permanentes).	Conseil départemental, ONF, INRA, Météo-France, DSF, PN Mercantour, Association des communes forestières, Groupement international d'Études des Forêts Sud-européennes, CRPF
2007 Sécheresse	Année 2007 exceptionnellement sèche.	
2008 Début de l'observatoire	Implantation des premières placettes permanentes d'observation. Au total 60 placettes seront établies. Réalisation de la première cartographie des mortalités.	Conseil départemental, ONF
2009 Comité de suivi scientifique	Réunion du comité de suivi scientifique du dépérissement forestier à l'initiative du Conseil départemental. Présentation par l'ONF des actions menées.	Comité de suivi (mêmes acteurs qu'en 2006)
2009 Prise en compte dans les aménagements	Les dépérissements sont pris en compte dans les aménagements en révision : le Sapin n'est plus considéré comme essence objectif en dessous de l'étage montagnard moyen. Aucune révision anticipée d'aménagement n'est cependant effectuée.	ONF

2013 Rapport de suivi 2008-2012	Grands résultats : le déficit foliaire du Sapin pectiné augmente entre 2008 et 2012. Il est plus élevé et augmente plus vite à basse altitude.	Conseil départemental, ONF
2014 Décision d'arrêt de l'observatoire	Le protocole de suivi est arrêté en 2014. La demande des partenaires évolue : ■ le suivi du phénomène n'est plus jugé utile ; ■ la mise en œuvre et le financement des actions de reconstitution deviennent les sujets prioritaires des communes forestières.	Conseil départemental
2016 Rapport de suivi	Stabilisation de l'état sanitaire depuis 2013. Très peu de mortalité supplémentaire depuis 2011.	Conseil départemental, ONF
Prévu pour 2020 Guide de gestion des peuplements dépérissants et vulnérables	Projet de guide d'adaptation des forêts au changement climatique sur la région Sud PACA intégrant des préconisations de gestion. Partenariat ONF – Département des Alpes Maritimes pour définir une gestion forestière adaptée au changement climatique dans les forêts Maralpines. Les préconisations concernant le Sapin pectiné tiennent compte de son nouvel état sanitaire suite à la crise post 2003.	ONF en concertation avec INRAE, CNPF, COFOR, Département, Région

Bilan général en 2020

Suite à la sécheresse et la canicule de 2003, le dépérissement du Sapin pectiné atteint une surface et une intensité sans précédent dans les Alpes-Maritimes. Aucune crise sanitaire n'est officiellement déclarée mais des mesures de gestion de crise sont mises en place, coordonnées et soutenues par le Conseil départemental. Les acteurs forestiers se réunissent régulièrement au sein d'un comité de suivi tout au long de la phase aigüe de dépérissement.

Cette organisation a permis une gestion efficace au plus fort de la crise sanitaire : les bois de qualité ont pu être majoritairement exploités sans perte importante pour les communes propriétaires. De plus, cette crise a permis à la filière bois de mieux se structurer : les équipements d'exploitation ont pu être modernisés et la filière bois-énergie s'est développée.

Cependant, faute de cellule de crise officiellement installée, il aura manqué un retour d'expérience documenté et partagé par l'ensemble des acteurs en fin de période aigüe des phénomènes de dépérissement (2010).

Les conséquences de cet épisode continuent de se faire sentir en 2020 : un projet de guide de gestion adaptative pour les peuplements dépérissants et vulnérables de la région PACA est initié par l'ONF. Il permettra de proposer aux propriétaires et gestionnaires des préconisations de gestion tenant compte du nouvel équilibre sanitaire des peuplements issu de la crise post 2003.

Depuis 2017, des dégâts de sécheresse sont signalés et les phénomènes de dépérissement semblent s'amplifier sans reprise significative de la récolte de volumes dépérissants.

FICHE N°10

La maladie des bandes rouges sur Pin laricio

La maladie des bandes rouges engendre des dégâts dans de nombreuses régions du monde sur différentes espèces de Pin. En France, le Pin laricio est la seule essence significativement touchée. Naturellement présent en Corse et en Calabre, le Pin laricio a été introduit en France continentale, assez massivement après la création du FFN (1946) et jusque dans les années 80 et 90. Les plantations ont été particulièrement importantes en régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire où il a été longtemps la première essence de reboisement. En 2013, 2014 et 2015, les signalements de maladie sont très nombreux et génèrent des inquiétudes sur l'avenir du Pin laricio, jusqu'alors apprécié pour sa rapidité de croissance, sa rectitude et la qualité de son bois.

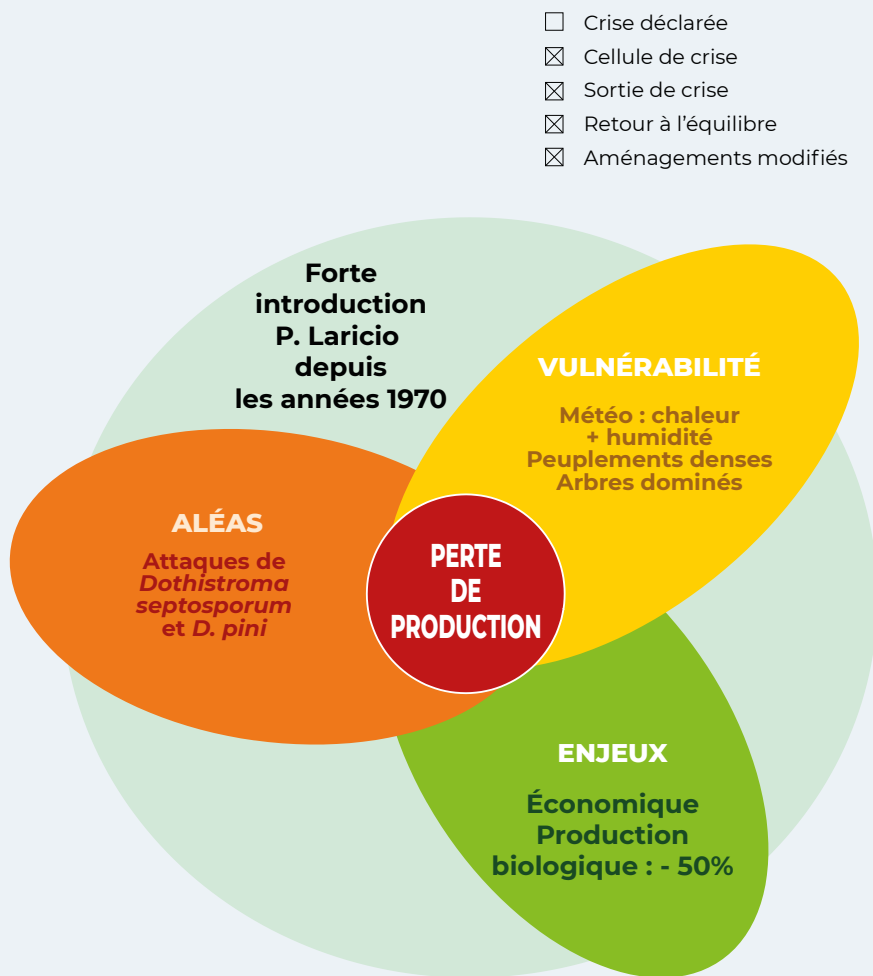
*Rédacteur : Louise Brunier (CNPFP)
Contact : sandrine.perret@inrae.fr*

La maladie est détectée pour la première fois en France en 1966 à Nancy, mais reste anecdotique. En régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire, les observations de la forêt publique et privée compilées par le Département de la santé des forêts (DSF) se multiplient au début des années 2000, sans pour autant alarmer les acteurs forestiers.

Les signalements deviennent particulièrement importants et réguliers à partir de 2012 (**figure 1**). Les houppiers sont fortement colorés en rouge puis nettement plus clairs. En forêt publique, les programmes de coupe ne peuvent pas être respectés : dans les parcelles dont l'exploitation est prévue par l'aménagement, les peuplements sont encore trop clairs pour être éclaircis (**figure 2**).

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

La maladie des bandes rouges du Pin laricio (Région Centre)



- Partenariat scientifique et technique (recherche, DSF, gestionnaires)
- Gestion adaptative en cours de réflexion (refonte guide de sylviculture)
- Communication vers propriétaires



- Partenariat incomplet (État, filière-bois absents)
- Temps de latence important pour initier R&D

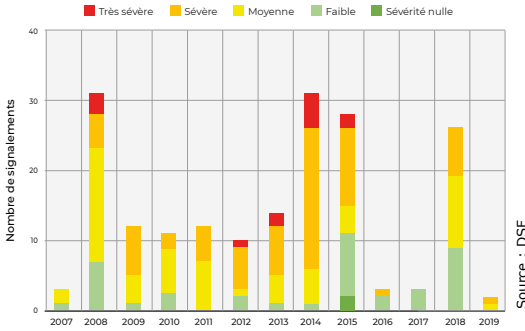


Figure 1 : Nombre annuel de signalements reçus par le DSF, avec indication de la sévérité, concernant la maladie en région Centre-Val de Loire.

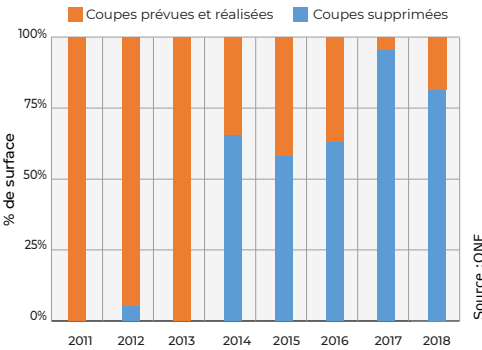


Figure 2 : Proportion de parcelles de Pin laricio dont les coupes ont été ajournées (FD d'Orléans, Unité territoriale Lorris les Bordes).

Les dispositifs expérimentaux confirment les doutes : une forte diminution de la croissance est constatée, même si les causes sont sans doute multiples (figure 4). Les forestiers craignent un dépérissement de l'essence.

Face aux incertitudes sur les impacts de la maladie, de nombreux projets de plantations en Pin laricio sont abandonnés au profit d'autres essences (Pins maritime et sylvestre). Certains gestionnaires transforment leurs peuplements de Pin laricio tandis que d'autres reportent les coupes

prévues. Globalement les volumes exploités diminuent, le couvert des peuplements ne se refermant plus après éclaircie.

Le dialogue entre gestionnaires, organismes de développement, DSF et chercheurs aboutit à la conclusion que la maladie et ses impacts ne sont pas encore suffisamment connus pour répondre aux interrogations des gestionnaires. Le projet de recherche DoLar (pour *Dothistroma laricio*) est initié fin 2014 pour tenter de répondre à ces interrogations.

La maladie

La maladie des bandes rouges est une maladie foliaire causée par deux champignons : *Dothistroma septosporum* et *D.pini* générant les mêmes symptômes. Elle provoque des nécroses qui forment des bandes rouges sur les aiguilles des Pins (figure 4). Les symptômes apparaissent en automne et sont les plus visibles en fin d'hiver. Les résultats du projet DoLar permettent de mieux comprendre les facteurs favorisant la maladie et ses impacts.

Influence de différents facteurs sur la maladie

- **Facteurs pédoclimatiques :** la maladie est favorisée par des printemps chauds et humides tandis que les sécheresses estivales la limitent. Un niveau trophique faible la favorise. Les facteurs interagissant, le cumul de facteurs de stress est préjudiciable.
- **Statut social de l'arbre :** les dominants et co-dominants sont en moyenne moins touchés (la maladie ne modifiant pas le statut social).
- **Sylviculture :** l'impact de la maladie est d'autant plus important que la densité du peuplement est forte.

■ **Génétique** : le Pin laricio de Calabre est moins sensible que le Corse, mais il existe une forte variabilité selon les provenances.

La variabilité individuelle est extrêmement importante : les facteurs précédemment cités n'expliquent qu'en partie la sensibilité à la maladie.

La croissance est durablement impactée par la maladie : le houppier met du temps à se reconstituer suite à une forte attaque. Globalement, l'essence continue de croître mais pas aussi vite qu'en l'absence de maladie : 48 % d'accroissement en surface terrière en moins pour un niveau moyen de maladie de 45 %.

Impacts sur les peuplements forestiers

■ **Mortalité** : négligeable :

elle ne concerne que les arbres dominés dans des peuplements non ou peu éclaircis.

■ **Croissance** : les pertes de croissance sont proportionnelles aux dégâts causés aux houppiers par la maladie.



Figure 3 : Bandes rouges causées par *Dothistroma septosporum* et *D. pini*.

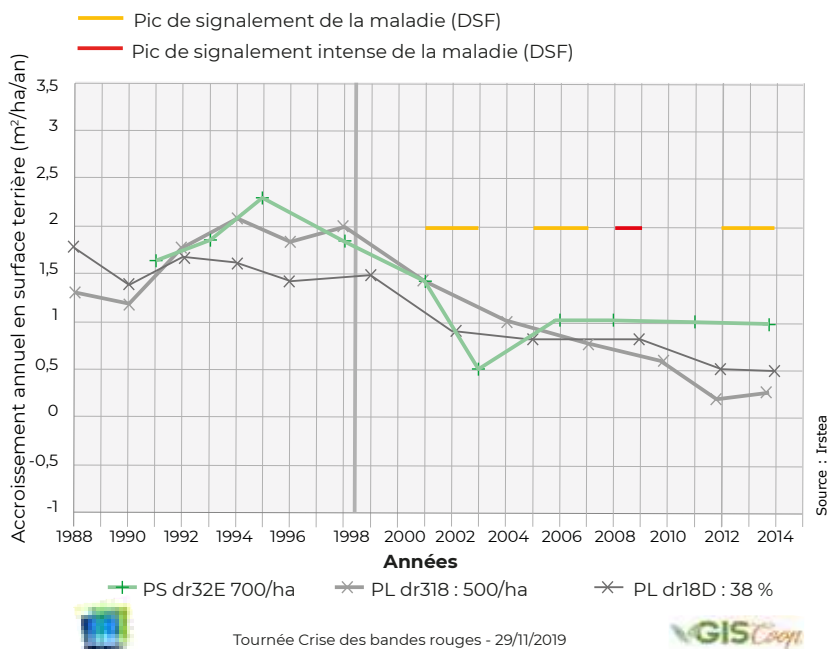


Figure 4 : Évolution comparée de l'accroissement de peuplements purs et gérés dynamiquement de Pin (sylvestre et laricio de Corse) en forêt domaniale d'Orléans dans le contexte de la maladie des bandes rouges.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

Si les signalements de maladie deviennent importants à partir de 2012, l'entrée en crise peut être datée de 2014 : année à partir de laquelle l'ensemble des acteurs prennent conscience de l'impact potentiel de la maladie et se réunissent.

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	-
Expertise de personnes référentes	Signalements du DSF.
Taux de produits accidentels récoltés	C'est l'inverse qui se produit : la récolte de bois diminue significativement.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	-
Extension géographique	Tous les peuplements de Pin laricio sont touchés les années de forte maladie.
Proportion du capital sur pied atteint	Niveau moyen de maladie : 45 %.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	Conditions climatiques favorables à la maladie.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Amont : Sur les pépiniéristes, diminution de moitié de la vente de plants de Pin laricio entre 2013 et 2018. Aval : diminution des volumes sans impact pour la filière : d'autres Pins peuvent être utilisés.
Autre critère	Impact sur la croissance : 48 % d'accroissement en surface terrière en moins pour un niveau moyen de maladie de 45 %. Impact sur les plantations : réduction des surfaces plantées en Pin laricio.

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

La sortie de crise n'est pas réellement actée à ce jour.

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	La croissance des Pins reste ralentie tant que les houppiers ne se sont pas reconstitués.
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à plan simple de gestion	-
Expertise de personnels référents	Diminution des signalements. Les résultats du projet DoLar donnent des recommandations pour la gestion du Pin laricio, ce qui devrait permettre de réorganiser la gestion.
Retour à un nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré-crise	Nouvel équilibre différent, avec une sylviculture adaptée du Pin laricio prenant en compte un accroissement plus faible, et surtout des préconisations sur la plantation dans des conditions proches de son optimum écologique. Planification de nouveau possible : diminution de l'ajournement des coupes.

En 2019, la maladie est mieux connue et un nouvel équilibre semble proche, cependant la vulgarisation des résultats obtenus et leur traduction dans des guides de sylviculture restent à faire pour véritablement acter la sortie de crise.

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
1950-1970 Introduction du Pin laricio	Plantation massive de Pin laricio en région Centre-Val de Loire.	Administration (FFN) et gestionnaires
1966 Détection en France	Première détection de la maladie en France à Nancy.	INRA
1980-1990 Introduction du Pin laricio	Poursuite des plantations massives de Pin laricio en régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire.	Administration (FFN) et gestionnaires
1996 Guide de sylviculture	Premier guide ONF de sylviculture du Pin laricio.	ONF
2002-2012 Petits pics de maladie	Pics de signalement de la maladie en régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire (en 2002, 2003 et 2008). L'impact visuel est faible et on ne connaît pas encore l'impact sur la croissance.	Signalements DSF et propriétaires forestiers
2008 Cartographie	Réalisation d'une carte de présence des 2 champignons.	DSF
2009-2011 Premiers suivis	Les correspondants observateurs du DSF réalisent des observations de la maladie sur des placettes existantes (réseau de placettes pour chenilles processionnaires).	DSF
2011 Communication	Communication à l'intention des propriétaires expliquant la maladie. Premières recommandations : ne pas procéder à la coupe rase, réserver les plantations de Pin laricio aux stations qui lui conviennent.	CNPF, ONF
2013-2015 Pics de maladie	Trois années consécutives avec une forte présence de la maladie.	Signalements DSF et propriétaires forestiers
2013-2015 Intensification de la communication	Communication à l'intention des propriétaires plus fréquente.	CNPF
2014 Mise en place du partenariat	Présentation de la maladie des bandes rouges et discussions : « Comment répondre aux interrogations des gestionnaires ? ».	Irstea, CNPF, IGN, ONF, DSF, INRA

2014-2020	Installation et suivi d'un réseau national de 80 placettes de suivi spécifique de la maladie.	DSF, ONF
2015 Début du projet DoLar	Projet de recherche « Adaptation de la sylviculture du Pin laricio en France dans le contexte de la maladie des bandes rouges ».	Irstea, CNPF, IGN, ONF, INRA, DSF (initiateur et financeur)
2019 Résultats du projet DoLar	Publication du rapport final du projet DoLar.	Irstea, CNPF, IGN, ONF, INRA, DSF
À partir de 2020 Prise en compte des résultats de la recherche dans le guide de sylviculture des Pins de plaine	Établissement d'un itinéraire sylvicole prenant en compte ces résultats lors du bilan d'application du guide de sylviculture : continuer une sylviculture dynamique et suivre les peuplements par le facteur d'espacement plutôt que par la surface terrière.	ONF (groupe de travail bilan Guide Pins de plaine)

Bilan général

La maladie des bandes rouges est à présent signalée chaque année, avec une intensité plus ou moins forte. Elle ne provoque globalement pas de mortalité et n'est de ce fait pas très visible pour le grand public. Son impact sur la croissance du Pin laricio est cependant fort et a désorganisé l'ensemble de la filière : du pépiniériste à l'exploitant forestier.

Les acteurs ont su se coordonner et chercher à mieux connaître la maladie et ses impacts. Les connaissances acquises permettent d'envisager une sylviculture différente de cette essence, une réorganisation de la gestion et de la filière en tenant compte de la présence de la maladie. Leur vulgarisation et mise en pratique reste cependant à faire.

Le Pin laricio n'a plus une croissance aussi rapide qu'avant l'apparition de la maladie, mais sa sylviculture reste possible et sa valorisation intéressante pour l'ensemble de la filière, notamment dans le contexte des changements globaux.



© DSF / François-Xavier Saintonge

Figure 5 : Pin laricio atteint de la maladie des bandes rouges.

Points positifs

- La mobilisation des acteurs pour apporter des réponses a été efficace et le projet de recherche a donné des résultats rapidement.
- La communication a été suffisamment importante pour éviter un effet de panique et des coupes rases de Pin laricio atteints par la maladie : les peuplements ont été majoritairement conservés.

Difficultés et points d'amélioration

- L'association des acteurs s'est faite de manière informelle et certains acteurs

n'ont pas été associés : l'État, les pépiniéristes et les exploitants. Cela pourrait s'avérer limitant pour la suite de la gestion de crise (vulgarisation efficace des résultats, contrôle des plants pour éviter l'introduction de nouvelles souches de maladies etc.).

- Lorsque la mobilisation a commencé, la maladie était déjà présente et visible depuis le début des années 2000. Des recherches plus précoces auraient permis de cerner l'impact du phénomène plus rapidement.

Recommandations pour la sylviculture du Pin laricio (issues du projet DoLar)

- **Maintenir le Pin laricio dans la gamme des essences de boisement et reboisement forestier** : c'est une essence qui résiste pour l'instant bien aux changements climatiques attendus et qui continue à croître malgré la maladie.
- **Conserver les deux variétés de Pin laricio (Corse et Calabre)**. Le Corse est plus sensible à la maladie des bandes rouges mais moins à un autre champignon : le *sphaeropsis* des Pins.
- **Planter le Pin laricio sur les stations qui lui conviennent et adapter le choix de la variété (Corse ou Calabre) en fonction des contraintes de risque majeures (bandes rouges ou *sphaeropsis*, conditions pédoclimatiques).**

Le Pin laricio de Corse en particulier ne doit pas être planté dans des conditions de très faibles niveaux trophiques.

- **Ne pas planter de grandes surfaces homogènes**, diversifier les essences et les provenances.
- **Utiliser des plants indemnes de maladie.**
- **Appliquer une sylviculture dynamique** : plus un peuplement est clair moins il est sensible à la maladie. Il s'agit ensuite d'un compromis pour conserver une production de bois intéressante.
- **Les éclaircies doivent prélever en priorité les arbres atteints quel que soit leur statut social** et conserver les arbres les plus vigoureux, gros ou dominants, généralement moins sensibles à la maladie.



FICHE N°11

Les Scolytes de l'Épicéa en forêt privée de Franche-Comté

Le problème récurrent des pullulations de "Scolytes" sur résineux est pris en compte depuis longtemps par la forêt privée franc-comtoise. Il a donné lieu à des actions communes, initiées au début des années 1980 puis déployées après chaque aléa climatique (chablis de 1990, tempêtes de 1999, sécheresse et canicule de 2003). Les campagnes de sensibilisation et de vulgarisation des méthodes de lutte active se sont succédées à chaque épisode épidémique : la vigilance et la réactivité de nombreux propriétaires privés ont été renforcées ; mais l'ignorance et l'éloignement de beaucoup d'autres propriétaires limitent l'efficacité de la lutte active.

*Rédacteur : Patrick Léchine (CRPF Bourgogne-Franche-Comté)
Contact : patrick.lechine@cnpf.fr*

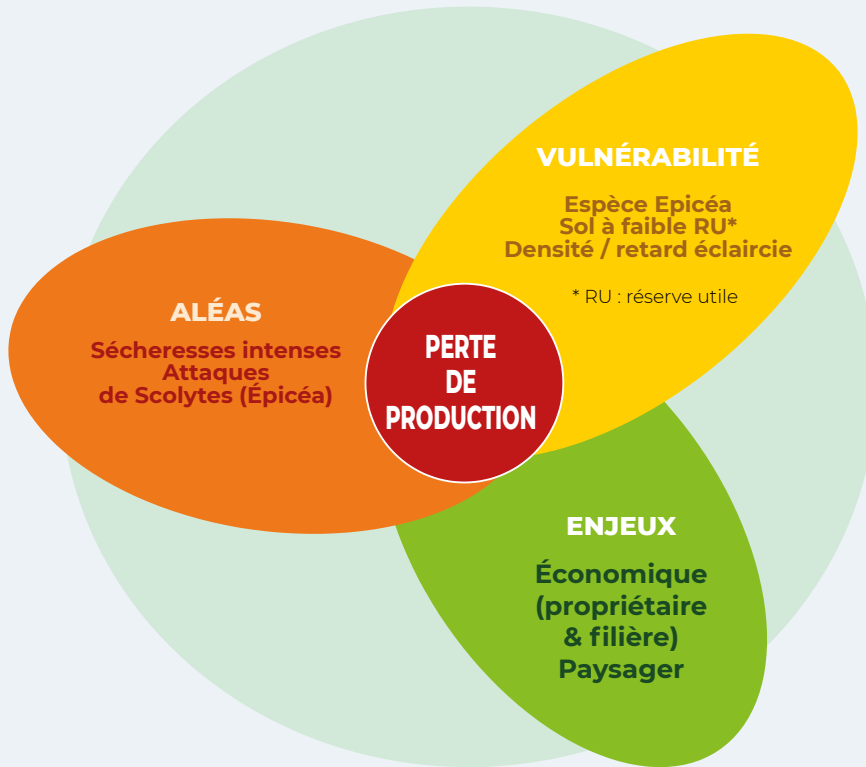
Suite à la sécheresse et la canicule de 2003, le signalement de foyers en forêt privée et l'organisation de leur résorption rapide, maillons importants de la lutte, ont conduit le CRPF à mettre en œuvre une première action de coordination en 2004-2005.

En 2007, le contexte économique très favorable et la forte demande en bois ont permis à la filière de résoudre seule de nombreux cas. Néanmoins, à la demande de la DRAAF, le CRPF et la Chambre d'Agriculture ont mené une nouvelle action de lutte en forêt privée, selon une

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Scolytes de l'Épicéa en forêt privée en Bourgogne Franche-Comté post 2003

- ☐ Crise déclarée
- ☐ Cellule de crise
- ☒ Sortie de crise
- ☒ Retour à l'équilibre
- ☐ Aménagements modifiés



- Élaboration d'un réseau de référents et formation
- Application des cadres réglementaires
- Recommandations du DSF concernant lutte active



- Pas de crise déclarée
- Pas de cellule de crise multipartenaires (forêt privée seule, absence filière)

Source : DRAFT Franche-Comté A. Inhart / P. Boucard - Juin 2007

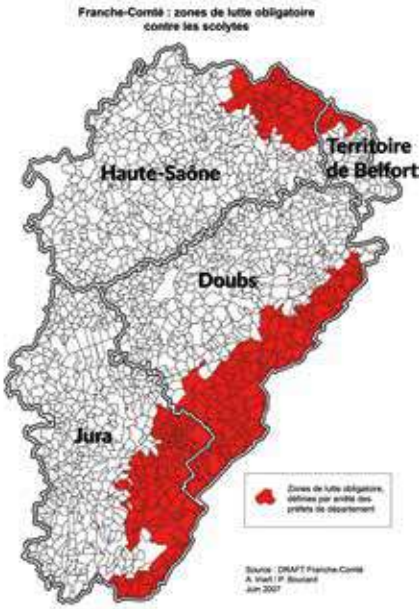


Figure 1 : Franche-Comté, zones de lutte obligatoire contre les Scolytes.

stratégie qui a mobilisé l'ensemble de la filière pour :

- maintenir une vigilance généralisée sur l'ensemble du territoire (observateurs de terrain formés aux détections précoces) ;
- intensifier la détection et la lutte dans des zones de "lutte obligatoire" (figure 1) au sein desquelles la sauvegarde de l'Épicéa est collectivement souhaitée (arrêtés préfectoraux publiés à la fin du printemps 2007).

En parallèle, les recommandations du Département de la santé des forêts (DSF) ont été encouragées : actions préventives et lutte active.



Figure 3 : Galerie de chalcographe sur Épicéa.

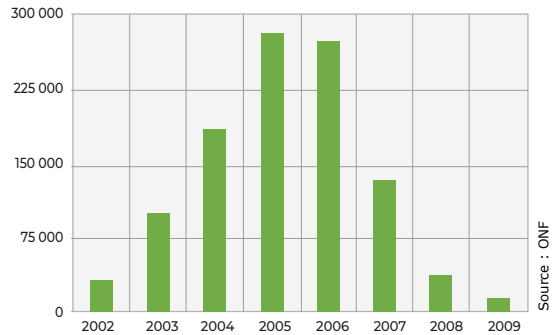


Figure 2 : Une explosion des récoltes d'arbres scolytés (Volume d'Épicéa scolyté exploité en forêt publique en Franche-Comté, en m³).

Les facteurs déclenchants ; les indicateurs d'entrée en crise

Suite aux déficits de précipitations des années 2003 puis 2005 et 2006, les volumes de bois scolytés récoltés en forêt privée ont atteint des records. Les attaques tendaient à se déplacer de manière inquiétante dans l'aire naturelle de l'Épicéa, jusqu'aux Hautes-Chaînes, impactant des peuplements en station.

L'échelon Nord-Est du DSF confirmait l'importance des dégâts en Franche-Comté et la nécessité de poursuivre la lutte active.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Sans objet.
Expertise de personnes référentes	Alerte du Département de la santé des forêts.
Taux de produits accidentels récoltés	Connu, avec un pic de 2003 à 2007 (figure 2).
Nombre de coupes d'urgence en forêt privée soumise à un plan simple de gestion	Connu, avec un pic de 2004 à 2007.
Extension géographique	-
Proportion du capital sur pied atteint	-
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	Bilan hydrique défavorable : réserve utile de sol faible ; pluviométrie insuffisante.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Risque de saturation de la filière et de baisse forte des cours du bois.

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Taux de produits accidentels récoltés	Partiellement connu : forte baisse à partir de 2007 (figure 2).
Nombre de coupes extraordinaires en forêt privée soumise à un plan simple de gestion	Connu : nul en 2008.
Expertise de personnels référents	Néant.
Retour à nouvel équilibre analogue ou différent de l'équilibre pré-crise	Retour à un équilibre analogue.

La gestion de la crise sanitaire

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	ACTEURS
Janvier 2007 Constat d'une situation alarmante	Première réunion à la Préfecture du Jura afin d'organiser la lutte contre les Scolytes : actions coordonnées par la DRAAF impliquant tous les partenaires (propriétaires publics et privés, gestionnaires, exploitants, scieurs, entrepreneurs de travaux forestiers (ETF)).	Préfecture DRAAF
Mars 2007 Organisation de la lutte	Désignation du CRPF comme coordinateur régional de la lutte en forêt privée, avec 3 relais départementaux. Élaboration des documents de référence.	CRPF Chambre d'Agriculture du Doubs
	Implication des acteurs de l'aval pour accélérer la lutte dès le diagnostic de présence des foyers. Projet de charte de bonne conduite.	Gestionnaires Exploitants ETF

La gestion de la crise sanitaire (suite)

Avril à juin 2007 Cadre réglementaire	Arrêtés préfectoraux réglementant la lutte et instituant des zones de "lutte obligatoire".	DDAF Préfectures
Avril à juin 2007 Formation des référents du Jura	Dispositif expérimental complémentaire dans le Jura : ■ identification de personnes volontaires au sein des membres du Syndicat des Propriétaires Producteurs Forestiers Privés et des Associations Syndicales de desserte (ASA) ; ■ organisation de journées de formation à la détection précoce des foyers (sciure brune).	Échelon DSF CRPF Syndicat et ASA
Années 2007-2008 Vulgarisation et information des acteurs	Réunions d'information et conseil auprès des propriétaires.	CRPF Chambres d'agriculture ADEFOR
	Information et demande de signalement adressées aux maires des zones de lutte obligatoire par les DDAF.	DDAF Élus locaux
Années 2007-2008 Mise en œuvre de la lutte active	Enregistrement de tous les signalements par les coordinateurs départementaux (tableaux de suivi).	Tous
	Identification du propriétaire : en général, communication des coordonnées au coordinateur départemental ou à défaut, identification de la parcelle et du propriétaire.	Tous
	Diagnostic sanitaire réalisé par : ■ les professionnels dans le cadre de leurs signalements ; ■ les référents ayant reçu la formation DSF (diagnostics validés ou confirmés après visite par le coordinateur départemental en cas de doute) ; ■ le coordinateur départemental dans les autres situations.	Tous
	Information du propriétaire de la parcelle atteinte : procédure simple à l'initiative du coordinateur départemental, privilégiant premier contact par téléphone, ou envoi d'un courrier type et d'une fiche diagnostic.	CRPF Chambre d'Agriculture du Doubs
	Traitement des foyers Délai de 3 semaines laissé au propriétaire pour traiter soit par lui-même, soit en demandant au coordinateur départemental l'intervention d'un gestionnaire. Dans ce cas, le coordinateur diffuse la fiche diagnostic par mail aux gestionnaires partenaires de l'action. Celui qui prend en charge le foyer informe les autres et le coordinateur. N.B. : un partage préalable du territoire entre gestionnaires destiné à réduire les temps d'intervention n'a pas été accepté. Déclaration de résorption Déclaration sur l'honneur du propriétaire retournée sous 3 semaines au coordinateur départemental (contrôle statistique). Procédure simplifiée par téléphone ou mail pour le gestionnaire chargé du foyer.	Propriétaires Gestionnaires

Années 2007-2008 Mise en œuvre de la lutte active	Information du coordinateur départemental, en temps réel, des foyers traités par les professionnels de la filière en complément des signalements.	Tous
	Mise en demeure Transmission par le coordinateur départemental des informations concernant un foyer en zone de lutte obligatoire qui n'est pas résorbé dans les délais (ou dont la résorption proche n'est pas signifiée), pour mise en demeure par la DDAF.	CRPF Chambre d'Agriculture du Doubs DDAF
Novembre 2007 et 2008 Remontée des informations quantifiées	Implication souhaitée de toute la filière, sous la coordination de la DRAAF. Les informations recueillies (caractéristiques des foyers traités, volumes de bois scolytés et récoltés) ont été quantifiées et centralisées au niveau des coordinateurs départementaux, puis synthétisées au niveau régional.	Tous
Années 2007-2009 Charte de bonne conduite	Proposition d'une charte de bonne conduite de lutte contre les Scolytes durant la période de validité des arrêtés préfectoraux. Signature en 2009 par tous les acteurs amont (public et privé) et aval.	Tous (coordination DRAAF)

Bilan général en 2010

Les contextes météorologique et économique favorables à la forêt ont favorisé la régression des populations de Scolytes (années 2007 et 2008 aux printemps et étés pluvieux ; forte demande du marché de bois résineux). La sortie de crise, amorcée en 2007, est à dater en 2008.

En forêt privée, le bilan global de la lutte évalue à 156 le nombre de propriétaires contactés par les coordinateurs, pour un volume total voisin de 12 000 m³, auquel s'ajoute l'activité des professionnels (exploitants forestiers, scieurs et ETF). Les propriétaires privés de parcelles touchées en zone de lutte obligatoire ont généralement accompli les démarches nécessaires à l'exploitation des foyers, soit en agissant directement, soit suite à l'information des coordinateurs.

Le défaut de signature de la charte de bonne conduite durant la période de crise a sans doute limité les résultats des actions entreprises.

Points positifs :

- Mise au point d'un schéma organisationnel, évolutif et mobilisable rapidement.
- Présence d'un cadre réglementaire avec arrêtés préfectoraux et zones de lutte obligatoire définies dans chaque département.
- Implication de personnes référentes (Jura), "investissement" durable dans une formation ciblée pour la détection précoce des attaques et mise en réseau de ces personnes.

Perspectives d'amélioration :

- Mieux évaluer le risque présenté par chaque foyer et améliorer sa localisation (GPS).
- Simplifier les procédures, réduire le nombre de documents de référence. Conserver une coordination départementale, mais s'appuyer davantage sur les techniciens de secteur.
- Étendre l'expérience du réseau de référents jurassiens aux autres départements ; solliciter ces personnes ressources dès le début de la saison de végétation.



Patrick Léchine © CNPF

Figure 4 : Peuplements présentant des foyers d'arbres scolytés.



Patrick Léchine © CNPF

Figure 5 : Foyer d'Épicéas atteints.

- Renforcer les synergies dans une logique de filière mobilisant l'ensemble des acteurs, afin de réduire les risques de doublon lors des signalements de foyers. Favoriser le regroupement de chantiers par massif, orienter la prospection en fonction de la localisation des abatteuses.
- Laisser au propriétaire qui le souhaite la maîtrise des opérations avec l'intervenant de son choix (fournir une liste de professionnels).
- Associer au principe réglementaire de mise en demeure des solutions concrètes en cas de risque élevé de contamination.
- À l'exception des arrêtés préfectoraux uniquement justifiés lors des phases de pullulation, pérenniser le dispositif et l'engagement de tous les partenaires, afin de disposer rapidement des moyens nécessaires à la mise en œuvre du plan de lutte en cas de besoin.

Le point début 2020 : une nouvelle crise « Scolytes » de l'Épicéa dans l'Est de la France

La crise 2004-2007 a clairement pris fin en 2008, par retour à un niveau habituel du taux de produits accidentels scolytés (figure 2).

Une nouvelle crise "Scolytes" de l'Épicéa résultant des aléas climatiques de 2018 et 2019 a démarré, couvrant les régions Bourgogne-Franche-Comté, Grand-Est et le nord des Alpes du Nord (figure 6). Par rapport à celle de 2003, elle est amplifiée par différents facteurs aggravants :

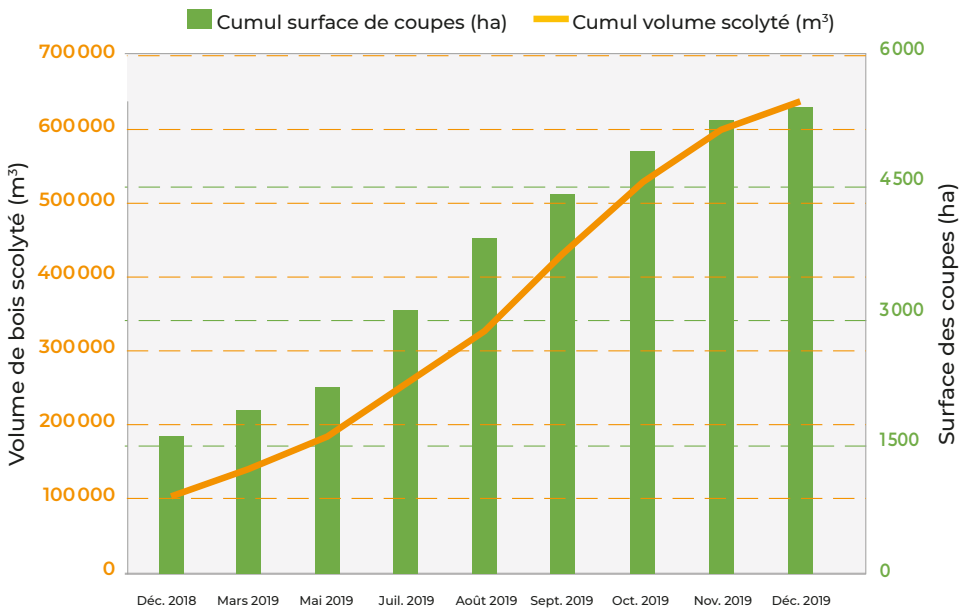


Figure 6 : Coupes d'urgence "Scolytes" en forêt privée en Bourgogne-Franche-Comté. Valeurs cumulées depuis octobre 2018.

- succession rapide de déficits hydriques exceptionnels en 2015, 2018 et 2019, avec apparition des premiers dégâts en 2017 ;
- crise sanitaire sans précédent à l'échelle européenne, par le nombre de pays concernés et les volumes de bois dépréciés ;
- marché saturé en 2019 pour les bois résineux secs, avec effondrement de leur valeur sur pied et difficultés de mobilisation grandissantes au fil du temps (importance des volumes, exploitations retardées faute de débouchés...).

Cette nouvelle crise démarrée en 2018 a capitalisé sur les enseignements organisationnels de la précédente. Cependant force est de constater que la filière se heurte à des difficultés, tant pour l'écoulement des bois que pour la reconstitution des peuplements dans un contexte de changement climatique rapide et important. Son bilan ne peut pas être réalisé au jour de la parution de ce document.

FICHE N°12

Le Nématode du Pin au Portugal

Le Nématode du Pin est un parasite microscopique invasif, réglementé par l'Union Européenne. Originaire d'Amérique du nord, il a été introduit en Asie où il cause de considérables dégâts en présence d'un arbre hôte et d'un insecte vecteur. Découvert en Europe depuis 1999 au Portugal puis en Espagne, ce parasite pourrait occasionner d'importants dommages s'il était introduit en France. Depuis 2008, l'ensemble du Portugal est considéré comme contaminé (à l'exception d'une zone tampon). Le pays a mis en place des actions pour réduire la population du parasite, limiter sa dispersion au niveau national et empêcher sa dissémination dans le reste de l'Europe.

*Rédacteur : Louise Brunier (CNPFP)
Contact : c.ozazio@iefc.net*

Depuis que le Nématode a été détecté au Portugal dans la péninsule de Setúbal en 1999, le pays est audité tous les ans par la commission européenne dans l'objectif d'empêcher la propagation du parasite et bénéficie d'un financement européen pour ce faire.

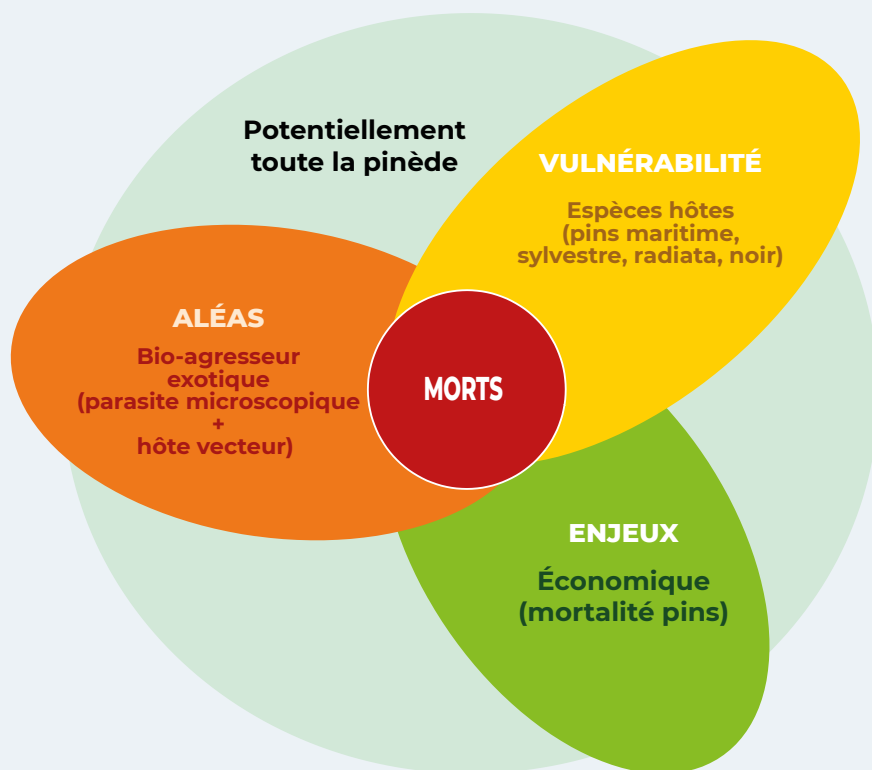
La forêt Portugaise est à plus de 90 % privée et n'est que très partiellement pourvue d'un cadastre. Dans la majorité des cas, l'État se substitue au propriétaire lorsqu'il faut intervenir.

Depuis 2008, le pays est divisé en plusieurs zones (**figure 1**) au sein desquelles les actions et objectifs sont différents :

SCHÉMA RÉCAPITULATIF

Nématode du Pin au Portugal

- ☐ Crise déclarée
- ☒ Cellule de crise
- ☐ Sortie de crise
- ☐ Retour à l'équilibre
- ☐ Aménagements modifiés



- Partage d'expérience internationale
- Anticipation du risque de propagation



- Pas de protection efficace
- Organisme réglementé : lutte obligatoire
- Éradication en cas d'infection

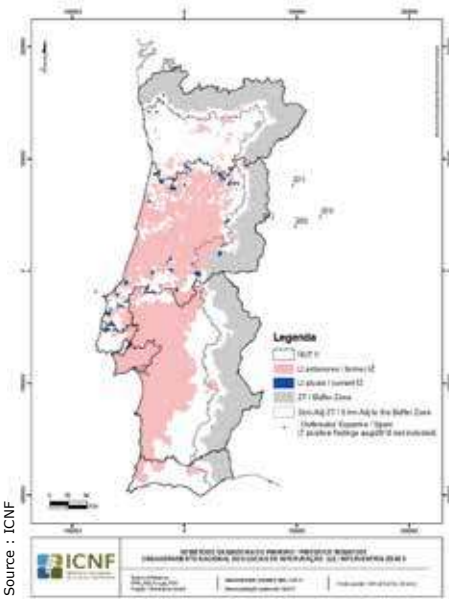


Figure 1 : Carte représentant les différentes zones au sein desquelles les stratégies de gestion du Nématode sont différentes.

Les facteurs déclenchants : mécanisme de dispersion du parasite

Le parasite et son vecteur

Le Nématode du Pin (*Bursaphelenchus xylophilus*) (figure 2) est un parasite xylo-

phage qui se nourrit et se reproduit au dépend de l'arbre hôte : il détruit les tissus transporteurs de sève ce qui provoque la mort rapide de l'arbre. Il est transporté d'arbre en arbre par un insecte (appelé vecteur) : au Portugal c'est le *Mono-chamus galloprovincialis* (figure 3) (*M. su-tor* pourrait également être un vecteur en France).

La transmission du Nématode se fait principalement lorsque des insectes infectés se nourrissent sur les petites branches de la canopée de Pins sains. Les arbres ainsi contaminés meurent en quelques mois et deviennent attractifs pour tous les *Mono-chamus* qui cherchent des hôtes mourants pour pondre en fin d'été. Les larves des *Mono-chamus* qui se développeront sur ces arbres morts donneront des adultes qui seront contaminés juste avant l'éclosion au printemps suivant. La dispersion se fait de proche en proche : l'insecte vole peu chaque fois mais peut couvrir de longues distances.

Le Nématode est impossible à détecter visuellement sur le terrain : une récolte d'échantillons de bois et leur analyse en

ZONE	DESCRIPTION	OBJECTIF	ACTIONS
Intérieur du pays (Stratégie Nationale)	Zone considérée comme contaminée. Les communes où le Nématode est présent sont identifiées. En 2020, c'est le cas de 50 % des communes de la zone.	Limiter la dispersion du Nématode au sein du Pays	Transport de bois interdit entre les communes contaminées et celles qui ne le sont pas. Instauration de permis d'exploitation et de transport avec contrôle de police des camions.
Zone tampon (~2,5 millions ha, 28 % du territoire) (Décision Européenne)	Zone comprenant toute les communes se trouvant à moins de 20 km de la frontière avec l'Espagne. Divisée en 4 unités de gestion.	Empêcher la contamination des pays voisins : zone où le Nématode doit être absent	Piégeage des <i>Mono-chamus</i> (vecteurs) et envoi systématique en laboratoire pour détection du Nématode. Arbres dépérissants : prélèvement pour détection du Nématode puis abattage (que l'arbre soit infecté ou pas). En 2020, le Nématode n'a jamais été détecté dans cette zone.

Sur l'ensemble du pays, les scieries ont obligation de traiter les bois contre le Nématode (traitement haute température).

© ANSES

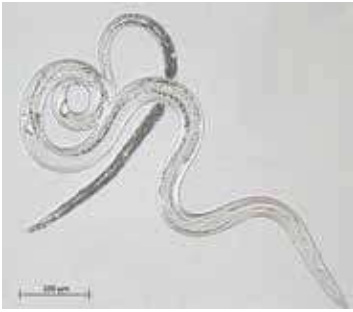


Figure 2 : Nématode du Pin.



Inge van Halder @ INRAE, Biogeco

Figure 3 : *Monochamus galloprovincialis*, vecteur du Nématode du Pin.

laboratoire est nécessaire. Certains indices peuvent indiquer une présence probable du parasite comme l'arrêt de la production de résine ou un dépérissement particulièrement rapide, mais ces symptômes peuvent également avoir d'autres causes.

Arbres hôtes :

Au Portugal, le **Pin maritime** est attaqué par le Nématode. Il a également été dé-

tecté sur le **Pin noir** (Portugal) et sur le **Pin radiata** (Espagne). Le **Pin sylvestre** est considéré comme très sensible (mais pas encore atteint au Portugal). Les Pins pignons et d'Alep s'avèrent un peu sensibles en laboratoire mais ne sont jamais attaqués sur le terrain. Selon les récentes études scientifiques, le Pin taeda est classé parmi les arbres résistants avec *Pinus elliotii* et *Pinus rigida*.

Les critères d'entrée en crise (voir chapitre 4)

Le cas du Nématode du Pin est particulier puisqu'il s'agit d'un organisme réglementé. Sa seule détection peut être considérée comme une entrée en crise : elle déclenche des mesures spécifiques et donc une modification de la gestion courante.

CRITÈRE	CAS DE LA CRISE
Atteinte à la santé humaine	Aucune.
Expertise de personnes référentes	Commission européenne
Extension géographique	Péninsule de Setúbal puis ensemble du Portugal, île Madeira ; ponctuelle en Espagne.
Analyse de facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers et des stations	Sensibilité des différents Pins : le Pin maritime, le plus sensible est très présent sur le territoire. Les incendies de 2017 augmentent le risque, les bois brûlés étant très attractifs pour les <i>Monochamus</i> juste après l'incendie.
Analyse des impacts possibles sur la filière bois	Les mesures obligatoires de traitement des bois ont induit des investissements qui n'ont pas été possibles pour certaines structures. L'impact du Nématode est venu amplifier la crise économique. Le Pin maritime voit aujourd'hui se réduire son importance commerciale : exploitation peu rentable, risque d'incendie très élevé et faible nombre d'entreprises transformatrices. Il est remplacé par l'Eucalyptus sur les surfaces gérées.

Les critères de sortie de crise (voir chapitre 8)

En 2020, la crise n'est pas terminée puisque l'organisme réglementé est toujours présent et que la puissance publique continue à se substituer aux opérateurs privés pour lutter contre sa propagation. Cependant la gestion s'est organisée et la situation s'est stabilisée avec une stratégie différente selon la zone du territoire.

La gestion de la crise sanitaire

Moyens de prévention et de lutte :

MOYENS PRÉVENTIFS	MOYEN CURATIFS
■ Traitement chimique des arbres : injection d'émamectine benzoate. Empêche la contamination. Efficace 5 ans. (Intéressant sur arbres remarquables, inenvisageable sur des peuplements entiers). ■ Prévenir la dispersion par l'Homme : contrôle du transport, protection des camions par toile imprégnée de produit chimique (empêche d'éventuels insectes de s'envoler du camion), traitement des palettes. ■ Éliminer les arbres déperissants (hôtes potentiels du Monochamus) et leurs rémanents.	■ Lutte mécanique : élimination des arbres atteints et des rémanents pendant l'hiver. Broyage du bois en copeaux de moins de 3 cm. ■ Piégeage du Monochamus : l'installation de pièges en été ne permet de prélever que partiellement la population (rôle de suivi plus que curatif). ■ Lutte biologique : les essais ne sont pour l'instant pas concluants. → Les stratégies préventives sont plus diverses et efficaces que les curatives.

DATE ET NATURE DE L'ACTION MENÉE	ACTION MISE EN ŒUVRE	
Contexte réglementaire initial	Le Nématode figure dans la Directive 77/93/CEE sur les mesures de protection contre l'introduction dans les États membres d'organismes nuisibles aux végétaux. Pour éviter son introduction, l'OEPP recommande à tous les pays européens l'embargo sur les introductions de bois de résineux en provenance d'Amérique du Nord.	
1999 Détection	Action Première détection du Nématode en péninsule de Setúbal. Acteurs : Univ. Évora et INIAV (recherche), ICNF (gestion)	Enseignement – Retour d'expérience Le Nématode était probablement présent depuis environ 2 ans. Une détection encore plus précoce aurait été préférable.
2000 Directive européenne	DIRECTIVE 2000/29/CE sur l'introduction et la propagation d'organismes nuisibles. Elle définit le Nématode du Pin comme « organisme nuisible dont l'introduction et la dissémination doivent être interdites dans tous les états membres ».	
1999-2008 Zonage de la contamination	Action Application de la directive européenne. Division du pays en 2 zones (contaminée et non contaminée) avec pour objectif de contenir le parasite dans la première. Coupe rase de 3 km de large entre ces 2 zones pour empêcher la contamination. Acteurs : ICNF (gestion), Commission européenne	Enseignement – Retour d'expérience Le Monochamus n'a pas été retrouvé dans les pièges placés après coupe rase de la zone tampon. Les derniers résultats scientifiques montrent cependant qu'il est capable de voler sur 40 km de distance si besoin.

2008 Détection hors zone contaminée	Détection du Nématode au centre du pays. Acteurs : INIAV et U. Coimbra (recherche), ICNF (gestion)	Enseignement – Retour d'expérience Le Nématode a été déplacé par transport de bois depuis la zone contaminée : le traitement des bois a probablement été mal réalisé.
2012 Nouvelles mesures d'urgence européennes	La décision d'exécution 2012/535/UE de la commission européenne définit de nouvelles mesures à mettre en place dans les états membre de l'UE pour lutter contre la propagation du Nématode (consolidée en mars 2017). Acteurs : Commission européenne	
2013-2017 Deuxième plan de lutte	Publication et mise en œuvre du plan national de lutte contre le Nématode 2013-2017. Il considère le pays comme contaminé dans son intégralité, définit les zones tampon et de vigilance accrue ainsi que les mesures à mettre en œuvre. Acteurs : ICNF (gestion)	
2017 Importants feux de forêt	442 418 ha brûlés Les incendies de 2017 ont affaibli les arbres survivants → toutes les zones de bordures d'incendies sont très sensibles au Nématode. Le nombre d'arbres potentiellement hôtes à abattre augmente de façon considérable : 1,5 millions sont affectés dans la zone tampon. Seuls 300 à 400 000 arbres peuvent être coupés par an. → C'est une « crise dans la crise ».	
2018 Décision européenne	Décision européenne 2018-618 autorisant le Portugal à abattre les arbres potentiellement hôtes sur une période plus longue (jusque mars 2020). Acteurs : Commission européenne	
À partir de 2018 Troisième plan de lutte	Ce plan de lutte 2018-2022 priorise les abattages à effectuer par une analyse de risque. Le risque est défini en fonction de : ■ la proximité des zones contaminées au Portugal ou en Espagne, ■ la densité de conifères hôtes, ■ la présence d'arbres dépérissants, ■ la proximité des bordures d'incendies, ■ la proximité du centre des incendies (les arbres les plus proches sont complètement brûlés et ne peuvent pas être hôtes), ■ la proximité de la zone tampon. Acteurs : ICNF (gestion)	

Bilan général

La crise sanitaire du Nématode du Pin au Portugal diffère de celles qui sont abordées dans ce guide puisqu'elle concerne un organisme réglementé. Sa gestion est donc très cadrée par l'Union européenne : l'entrée en crise est déclenchée par la seule détection du pathogène qui donne lieu à des actions spécifiques définies dans des directives européennes. Suite aux incendies et au grand nombre d'arbres morts qui en résultèrent, le Portugal a su négocier et adapter les mesures obligatoires à sa situation en

mettant en œuvre une analyse de risque afin de prioriser les actions d'abattage.

Efficacité des mesures

Après 21 ans de présence du Nématode au Portugal, l'ensemble du pays est considéré comme contaminé. Les foyers frontaliers sont cependant peu nombreux et maîtrisés. Au sein même du pays, certaines zones où le Pin maritime est présent ne sont pas encore infectées. Les mesures pour limiter sa propagation à l'ensemble du continent sont donc relativement efficaces.

Peuplement non géré



Peuplement activement géré pour lutter contre la propagation du Nématode grâce à des financements privés



Louise Brunier © CNPF

Louise Brunier © CNPF

Figure 4 : Peuplements de Pin maritime sur la péninsule de Troia en octobre 2019, atteints par le Nématode depuis 1999 (état initial similaire).

Coût

Il est estimé à un total de 7 050 000 € pour le plan national de lutte contre le Nématode 2018-2022. Le Pin maritime a une importance économique relativement faible au Portugal. Ce coût serait donc insoutenable sans les financements de l'Union Européenne, qui n'en couvrent cependant pas l'intégralité.

Si les mesures appliquées limitent effectivement la propagation du pathogène entre peuplements, le ravageur est extrêmement difficile à maîtriser une fois qu'un site est contaminé. Cela suppose de le détecter extrêmement tôt, de récolter systématiquement

à l'automne tous les arbres dépérissants en exportant ou en broyant les rémanents et de suivre attentivement la population de *Monochamus*. Si cette gestion est très efficace sur une petite surface (figure 4), elle est difficilement viable pour des raisons économiques sur de grandes surfaces et avec un marché du bois peu porteur. C'est pourquoi la puissance publique portugaise se substitue aux opérateurs.

En 2020, la crise n'est pas terminée, mais la gestion des peuplements a été adaptée et un nouvel équilibre se met progressivement en place.

Et en France en 2020 ?

En France, deux *Monochamus* (*M. galloprovincialis* et *M. sutor*) peuvent être vecteurs du Nématode, auquel les Pins maritimes, les Pins sylvestre et les Pins noirs seraient très sensibles. En 2020, le Nématode n'est pas présent en forêt sur le territoire français.

Surveillance

Un plan de surveillance est mis en œuvre depuis 2013 pour dépister une éventuelle introduction du parasite.

En cas de détection de Nématode

Un plan d'urgence a été défini en 2019. Il a pour objectif de préparer les services de l'État aux mesures à mettre en place.

Grâce au monitoring intensif effectué en Europe, le Nématode est détecté sporadiquement dans du bois ou des écorces en provenance du Portugal, mais jamais dans des conditions ayant permis son installation dans des peuplements forestiers.

ANNEXES



ANNEXES

1 Protocoles de notation
pour l'évaluation
ou le suivi d'un dépérissement
P.149

2 Télédétection :
outils et perspectives
P.159

3 Retour d'expérience
de crise sanitaire
P.175

4 Proposition bibliographique
et références citées
P.176

Patrick Léchine © CNPF

◀ Attaque de Scolytes sur épicéa à Faucogney-et-la-Mer (70).

ANNEXE 1

Protocoles de notation pour l'évaluation ou le suivi d'un dépérissement

Dessins de Florence Clément

*Coordinateurs : François-Xavier Saintonge et Morgane Goudet (MAA/DSF),
ainsi que Louis-Michel Nageleisen (1^{re} édition, MAA/DSF)*

Confronté à un dépérissement dans une région, un massif ou une parcelle, le forestier doit tout d'abord évaluer l'ampleur de l'événement de façon à prendre les décisions de gestion adéquates. Dans un deuxième temps il peut s'intéresser à la dynamique temporelle du phénomène pour soupeser les risques d'aggravation de la situation.

Introduction

Pour de telles évaluations, l'observateur va essentiellement utiliser les symptômes caractéristiques d'un dépérissement. Ce type de protocole a l'avantage d'être réalisable même en l'absence de compréhension des facteurs en cause dans le processus de dépérissement, compréhension qui nécessite en général des investigations poussées souvent hors de portée du gestionnaire.

Suivant l'objectif poursuivi localement, un dispositif d'observation et de notation peut être mis en place.

Plusieurs méthodes d'échantillonnage résumées dans le **tableau 1** sont envisageables.

OBJECTIF	MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE PROPOSÉE	OBSERVATIONS
Évaluation à un instant t de l'état d'une parcelle	Échantillonnage statistique de type "diagnostic sylvicole" : voir chapitre 6 « Actions opérationnelles ».	Méthode de diagnostic ponctuel, et non pas de suivi dans le temps. À réserver aux diagnostics avant intervention (martelage, travaux).
Évaluation à un instant t de l'état des peuplements d'un massif forestier (ou petite région naturelle)	Échantillonnage statistique sans repérage pérenne des arbres. Voir protocole ci-dessous.	Méthode pour dresser un état des lieux, et non pas pour un suivi dans le temps.
Évaluation de la dynamique du phénomène par un suivi pluriannuel d'arbres individuels	Échantillonnage statistique (avec éventuellement repérage pérenne des arbres). Voir protocole ci-dessous.	Méthode de suivi plus coûteuse, à mener sur de longues durées (3 à 10 ans) Utilisation à limiter aux dépérissements à forts enjeux.

Tableau 1 : Principaux dispositifs d'observations par échantillonnage.

Plusieurs protocoles d'évaluation et de suivi de l'état d'un arbre en situation de dépérissement sont disponibles.

PROTO-COLE	TYPE DE CRITÈRES	ESSENCES	PÉRIODE DE NOTATION	DESCRIPTION INTÉRÊT
DEPEFEU	Indice à 9 critères	Uniquement pour les feuillus au stade adulte	Été ou hiver	Méthode détaillée permettant de décrire précisément l'état des feuillus mais longue à mettre en œuvre. À privilégier pour suivis scientifiques.
DEPERIS	Indice à 2 critères	Toutes (feuillus et résineux) au stade adulte	Toutes saisons	Notation simplifiée de DEPEFEU. Protocole rapide et facile de mise en œuvre.
Déficit foliaire	Note synthétique par rapport à un arbre de référence	Toutes	Été (juillet préférentiellement) Possible hors saison de végétation pour les résineux	Méthode descriptive utilisée sur le réseau systématique de suivi des dommages forestiers, elle nécessite la définition d'un arbre de référence pour noter. Intègre les problèmes ponctuels comme les défoliations d'insectes.
ARCHI	Multicritères sous forme de clés adaptées aux spécificités de chaque essence	Chênes pédonculé, sessile, pubescent, liège, Hêtre, Châtaignier, Sapin, Douglas, Pin sylvestre, à crochet, de Salzmann. Liste amenée à s'étendre.	De préférence hors feuille pour les feuillus caducs, toute saison pour les résineux	Méthode prédictive cherchant à comprendre l'avenir de l'arbre (résilient ou non). La résilience ne pourra être observée qu'en décalé par rapport à l'expression de la crise.

Tableau 2 : Protocoles de notations symptomatologiques des arbres dans un contexte de dépérissement (les manuels détaillés de ces méthodes sont disponibles auprès du MAA/DSSF).

Le déficit foliaire, DEPEFEU et ARCHI sont des protocoles complexes de mise en œuvre qui nécessitent des formations et des intercalibrations régulières pour une cohérence des notations entre observateurs. Ils exigent une observation relativement longue par arbre (plusieurs minutes) pour obtenir une note finale. Ils ne sont pas transférables simplement à des gestionnaires forestiers non spécialisés dans la santé des forêts. Aussi, ces protocoles sont réservés à certains dispositifs (réseaux nationaux d'observation) ou à des études scientifiques faisant intervenir des acteurs qualifiés pour ces méthodes.

C'est pourquoi depuis 2018, le DSF propose un protocole d'estimation simplifié de l'état des houppiers des arbres, nommé **DEPERIS** : son objectif principal est de permettre une évaluation rapide et opérationnelle des arbres très affectés dont l'avenir sylvicole est incertain. Il peut être mis en œuvre après une formation et un étalonnage relativement rapides par des forestiers non spécialisés dans le domaine sylvosanitaire. Environ 250 correspondants-observateurs formés et compétents sont disponibles pour former le gestionnaire qui souhaite appliquer cette méthode sur sa forêt.

Méthode d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage et le choix du type de placettes (surface fixe, nombre d'arbres fixe...) dépendent de l'échelle des résultats attendus (parcelle, peuplement, entité de gestion, région...), de la répétition éventuelle de l'opération et enfin des moyens qui vont être déployés pour la mener.

Diverses méthodes d'implantation des placettes dans une zone géographique donnée (parcelle, groupe de parcelles, massif forestier, territoire...) sont disponibles, la plus classique étant basée sur une maille systématique en général carrée. Un nombre minimal de 30 points d'inventaire par unité d'échantillonnage est requis pour une précision satisfaisante. Ce nombre peut être augmenté : il dépend notamment des moyens dont dispose l'opérateur (personnel, nombre de jours d'observation...) et de la précision souhaitée. La densité de points est alors fonction de la surface de l'unité d'échantillonnage pour laquelle on souhaite un résultat : elle permet d'en déduire la largeur de la maille, qui correspond à l'espacement entre placettes.

Pour une évaluation rapide, un échantillonnage systématique le long des axes de pénétration (routes carrossables par exemple) donne de bons résultats. Le principe est de s'arrêter tous les X km et d'entrer dans le peuplement à inventorier, sur une distance fixée, pour y implanter une placette.

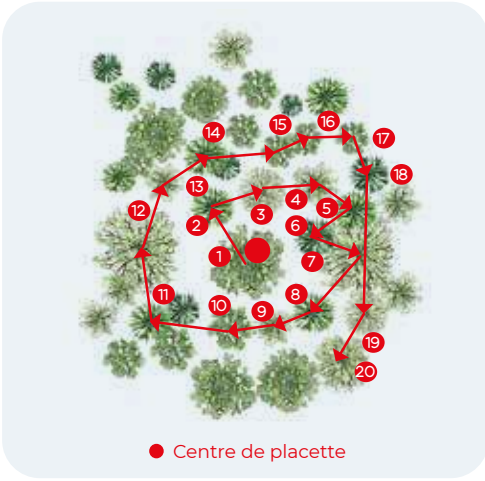


Figure 1 : Placette « en spirale ».

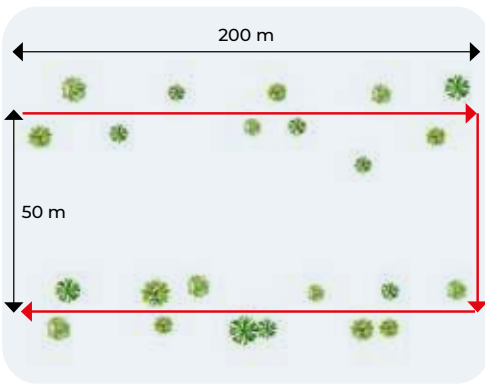


Figure 2 : Placette en « U ».

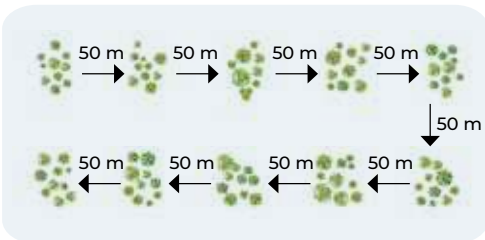


Figure 3 : Grappes de 10 arbres, cheminement en « U ».

En matière de santé des forêts, trois types de placettes, à nombre fixe de tiges, sont couramment utilisés :

a) des placettes « en spirale ». Le centre de la placette est fixé par les modalités du plan d'échantillonnage ; le premier arbre est le plus proche du centre de la placette et les arbres suivants sont choisis de proche en proche en parcourant une spirale jusqu'à atteindre le nombre défini (recommandé : 20 tiges dans un rayon maximal de 40 m).

b) des placettes en « U ». À partir du point de départ fixé par les modalités du plan d'échantillonnage, on parcourt en ligne droite 200 m en choisissant de part et d'autre du cheminement la moitié de l'effectif de la placette. À la fin de ce cheminement on se déporte de 50 m perpendiculairement puis on effectue un nouveau cheminement de 200 m dans le sens inverse en choisissant de part et d'autre l'autre moitié de l'effectif de la placette. Un nombre de 50 tiges est recommandé.

c) dans un peuplement de grande densité, on peut procéder par grappes de 10 arbres réparties tous les 50 m le long d'un cheminement en « U ». Dans ce cas l'effectif sera de 100 tiges (10 grappes de 10 arbres).

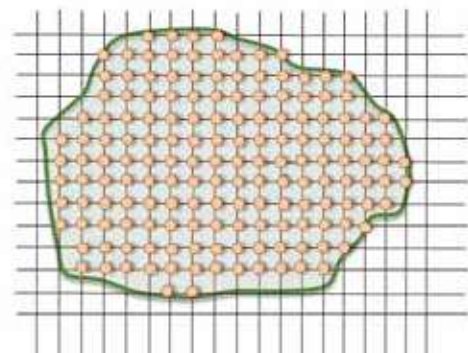
L'effectif à échantillonner par placette est à évaluer avec attention car la notation demande un temps non négligeable proportionnel au nombre de tiges observées. À titre indicatif :

- la notation DEPERIS de 20 tiges sur une placette spirale prend environ 1/2 h,
- la notation DEPERIS de 50 tiges le long d'un parcours en U peut prendre 1 h.

Deux équipes pendant 8 jours

147 points

○ Placette d'observation



Deux équipes pendant 2 jours

39 points

○ Placette d'observation

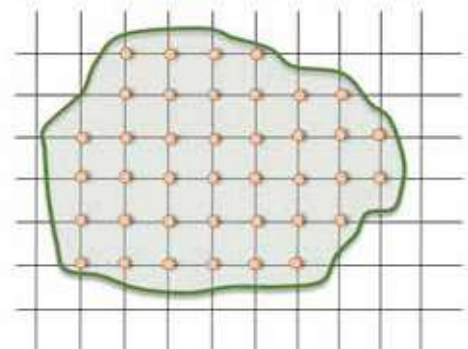


Figure 4 : Exemple d'unité d'échantillonnage correspondant à un massif forestier.

On peut considérer qu'une équipe de 2 peut réaliser 10 placettes de 20 tiges par jour dans une forêt de plaine, cheminement compris.

Il est important de bien définir au préalable les essences à observer : en effet un nombre minimal moyen de 10 tiges d'une même essence est absolument nécessaire pour obtenir des indications significatives au niveau de la placette et de l'entité échantillonnée.

Les arbres sont numérotés individuellement en cas de suivi pluriannuel (numéro visible depuis le centre de la placette pour des questions pratiques).

Formation et assurance qualité

Pour des notateurs non expérimentés, une formation est nécessaire au préalable, sur le terrain, animée par une personne maîtrisant le protocole choisi. De plus, dans le cas d'un dispositif faisant intervenir plusieurs équipes de notateurs, avant toute campagne de notation, il est **indispensable de s'intercalibrer** sur un échantillon d'arbres notés simultanément mais indépendamment par équipe. La confrontation des notes et le retour sur les arbres pour lesquels une divergence d'évaluation est constatée permet d'harmoniser les façons de noter de chaque équipe.

Un contrôle qualité, réalisé par voie statistique en cours de campagne, est utile : par exemple en effectuant une nouvelle observation sur 5 % des placettes par une équipe indépendante de la première.

Protocole d'estimation simplifiée de l'état des houppiers des arbres : DEPERIS

Ce protocole s'appuie sur deux critères symptomatologiques pérennes qui décrivent l'aspect des houppiers, dans leur partie fonctionnelle : les mortalités de branches et le manque de ramification (ou manque d'aiguilles pour les résineux). Ces deux critères sont complémentaires.

La mortalité de branches (MB)

Elle concerne les axes de toutes dimensions : aussi bien les pousses de l'année, les rameaux fins de plus d'un an que les branches de différentes tailles. Il s'agit d'un des principaux symptômes qui révèle des atteintes physiologiques graves pour le houppier.

Le manque de ramification pour les feuillus (MR) ou le manque d'aiguilles pour les résineux (MA)

Le deuxième critère varie selon que l'arbre observé est un feuillu ou un résineux. En effet, entre ces deux groupes d'essences, la morphologie et l'architecture sont assez différentes : l'observation simple depuis le sol n'est donc pas la même. Le manque de ramification qu'on note pour les feuillus n'est pas facilement accessible pour les résineux (polymorphisme, plusieurs années d'aiguilles présentes...). Pour ces derniers, on note alors plus globalement le manque d'aiguilles.

NB : le cas des mélèzes est particulier, du fait de leur feuillage caduc. Bien que s'agissant d'essences résineuses, c'est le critère MR qu'il est pertinent de noter.

Ces deux critères sont estimés d'après un état de référence correspondant à ce que l'arbre considéré aurait dû présenter s'il était sain et vigoureux.

Le manque de ramification MR cumule le manque lié à des lacunes (fenêtres, échancrures) et le manque de ramification lié à des phénomènes physiologiques (croissance en longueur, architecture...).

Le manque d'aiguilles MA cumule le manque lié à des lacunes de ramifications (fenêtres, échancrures) et le manque d'aiguilles lié à des phénomènes physiologiques (croissance en longueur trop faible, architecture...). L'absence d'aiguilles, totale ou partielle, en raison d'un aléa conjoncturel d'occurrence annuelle, soit climatique (gel printanier, canicule estivale...) soit biotique (attaque de chenilles défoliatrices ou de champignons foliaires), est incluse dans la note MA.

Les conditions générales d'observations

Les critères MB, MR et MA s'observent dans le houppier fonctionnel (à la lumière) dénommé « houppier hors concurrence », pour éviter l'incidence du manque de lumière, qui affecte les branches latérales en contact avec les arbres voisins ou les branches basses (**figure 5**). Pour cette raison, seuls les arbres de statut dominant ou codominant sont notés (**figure 6**).

Les arbres-échantillons (c'est-à-dire ceux qui sont notés) doivent être observés depuis plusieurs points (au minimum deux), si possible en vision latérale depuis une distance équivalente à la hauteur totale de l'arbre (**figure 7**). En peuplement dense, ces conditions optimales sont

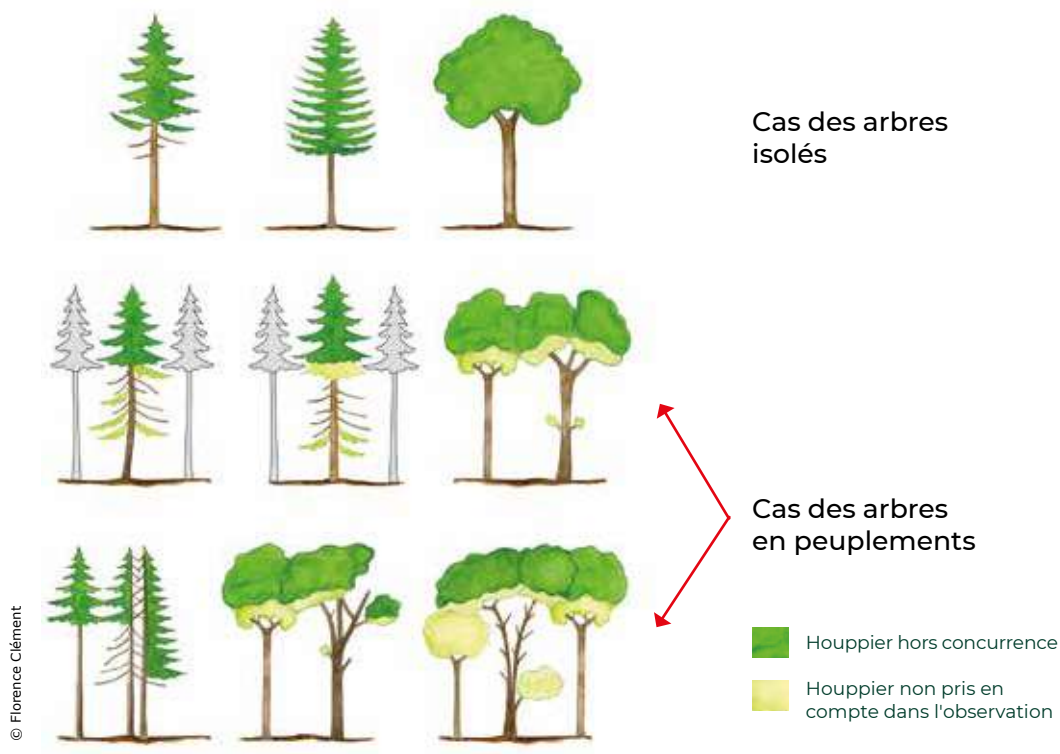


Figure 5 : Houppier hors concurrence en fonction de la densité du peuplement.

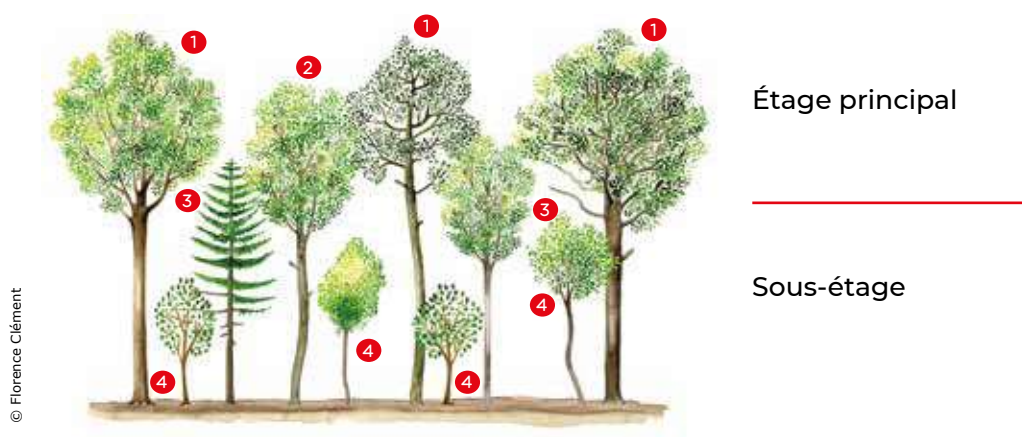


Figure 6 : Statut des arbres dans un peuplement.

① = dominant, ② = co-dominant, ③ = dominé, ④ = sous-étage

cependant rarement rencontrées. Dans ce cas, il faudra s'efforcer d'effectuer des observations permettant de voir la partie haute du houppier depuis plusieurs emplacements.

Les notations sont réalisées en pleine lumière du jour en évitant les heures trop tardives (ou trop précoces) au cours desquelles la lumière est modifiée (dominante rouge ou bleue) et ne permet pas des observations correctes de certains critères (coloration anormale notamment).

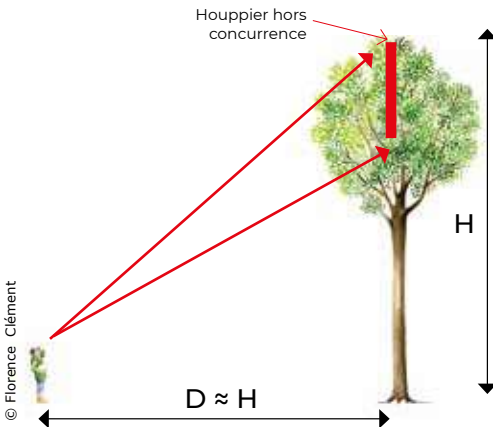


Figure 7 : Conditions optimales d'observation d'un arbre échantillon.

Des jumelles sont en général utiles pour affiner les appréciations.

Nota 1 : dans les pentes, il est préférable d'observer les arbres-échantillons depuis le coté amont ou sur la courbe de niveau.

Nota 2 : il faut éviter les contre-jours (soleil derrière l'arbre à noter).

Nota 3 : si la densité du peuplement gêne la visibilité complète des houppiers de certains arbres, ces derniers doivent être exclus de l'échantillon.

Méthode de notation

Le principe général est qu'on note ce qu'on voit.

La notation simplifiée de l'aspect du houppier est décrite à l'aide de deux critères :

- 1) la mortalité de branches (MB),
- 2) pour les feuillus le manque de ramification (MR) et pour les résineux le manque d'aiguilles (MA).

À chaque critère est attribuée à dire d'expert une note qualitative de 0 à 5 (tableau 3).

En fonction de ces deux notes, on attribue une note globale de A à F à l'aide d'une abaque (tableau 4).

On procède donc séquentiellement de la façon suivante :

- 1. Délimitation du houppier hors concurrence.
- 2. Attribution en premier de la note de mortalité de branches MB.

La mortalité de branches est appréciée à l'échelle du houppier fonctionnel. La branchaison morte n'est comptée qu'une fois dans la "mortalité de branches" et n'est pas prise en compte une deuxième fois dans le "manque de ramifications ou d'aiguilles".

- 3. Sur la part vivante du houppier hors concurrence, estimation du manque de ramification MR (feuillus) ou du manque d'aiguilles MA (résineux).

a. Pour les feuillus et les Mélèzes, le manque de ramification MR est estimé d'après une référence "arbre sain et vigoureux" de la même essence. Il s'agit, après

NOTE	INTENSITÉ	FRÉQUENCE	NOMBRE	% INDICATIF
0	Absence ou trace	Nulle à très faible	0 à quelques rares	0 à 5
1	Légère	Faible	Quelques à peu nombreux	6 à 25
2	Assez forte	Modérée	Assez nombreux	26 à 50
3	Forte	Importante	Nombreux	51 à 75
4	Très forte	Très importante	Très nombreux	76 à 95
5	Total	Toute la partie notée concernée	Total	96 à 100
NO	Arbre non observé, préciser la raison en remarques			

Tableau 3 : Classes de notation qualitative des critères MB, MR et MA.

Mortalités de branches MB	Manque de ramification MR (feuillus) Manque d'aiguilles MA (résineux sauf mélèzes)						
		0	1	2	3	4	5
	0	A	B	C	D	E	F
	1	B	B		C	D	E
	2	C	C	D	D	E	F
	3	D	D	D	E	F	F
	4	E	E	E	F	F	F
	5	F	F	F	F	F	F

Tableau 4 : Abaque d'attribution de la note DEPERIS.

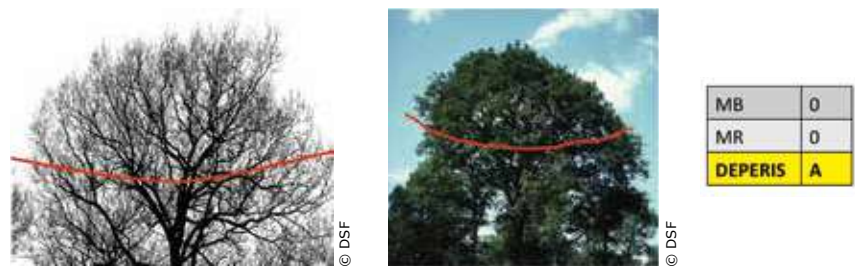
déduction des mortalités de branches (MR des branches mortes ne doit pas être pris en compte), d'attribuer une note qualitative et simplifiée de 0 à 5 à l'aspect transparent du houppier (échancrures, fenêtres, lacunes) par rapport à un arbre sain.

b. Pour les résineux sauf les Mélèzes, le manque d'aiguille MA est estimé d'après une référence "arbre sain et vigoureux". Lorsque les aiguilles sont absentes, totalement ou partiellement, en raison d'un aléa

conjoncturel d'occurrence annuelle, climatique (gel printanier, canicule estivale...) ou biotique (attaque de chenilles défoliatrices ou de champignons foliaires), ce manque d'aiguilles est inclus dans la note MA mais il doit être explicité par ailleurs. Il s'agit, après déduction des mortalités de branches, d'attribuer une note qualitative et simplifiée de 0 à 5 du manque d'aiguilles par rapport à un arbre sain.

■ **4.** Une note synthétique DEPERIS est attribuée à l'aide de l'abaque (tableau 4) à partir des deux notes MB et MA/MR.

Chêne pédonculé



Sapin pectiné

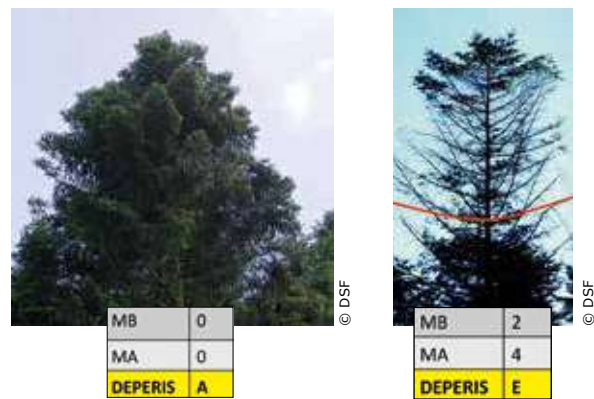


Figure 8 : Exemple de notation DEPERIS.

POUR TOUT COMPLÉMENT D'INFORMATION
CONTACTER LE PÔLE SANTÉ DES FORÊTS LOCALEMENT COMPÉTENT :

Pôle Auvergne-Rhône-Alpes (Clermont-Ferrand) :

dsf.draaf-auvergne-rhone-alpes@agriculture.gouv.fr

Pôle Bourgogne-Franche-Comté (Besançon) :

dsf.draaf-bourgogne-franche-comte@agriculture.gouv.fr

Pôle Grand-Est (Metz) :

dsf-ne.draaf-grand-est@agriculture.gouv.fr

Pôle Nord-Ouest (Orléans) :

dsf-no.draaf-centre-val-de-loire@agriculture.gouv.fr

Pôle Nouvelle-Aquitaine (Bordeaux) :

dsf-so.draaf-nouvelle-aquitaine@agriculture.gouv.fr

Pôle Sud-Est (Avignon) :

dsf-se.draaf-paca@agriculture.gouv.fr

ANNEXE 2

Télédétection : outils et perspectives

Rédacteurs : Anne Jolly (ONF), Thierry Bélouard (DSF), Dominique Guyon (INRAE), avec la contribution de Steven Hosford (CNES).

La télédétection, aérienne et spatiale, a été utilisée très tôt pour l'évaluation de dégâts forestiers. Ainsi dès la fin des années 1980, des défoliations massives de peuplements résineux sur de très grandes zones ont été cartographiées en Amérique du Nord avec des images issues du capteur Thematic Mapper à bord des satellites Landsat. Ce type d'images à résolution¹ décamétrique est toujours régulièrement utilisé pour de telles applications dans de vastes régions généralement peu accessibles. En Europe, et plus particulièrement en France, on dispose aussi de retours d'expérience, souvent concluants, parfois moins probants, d'utilisation de données de télédétection pour la cartographie de phénomènes sylvosanitaires.

Les capteurs et leurs vecteurs permettant d'observer les peuplements forestiers « depuis le haut » sont désormais extrêmement variés et nombreux. Plusieurs types de satellites offrent une couverture complète du territoire en routine : tous les jours à une résolution hectométrique ; tous les 5

à 20 jours à résolution décamétrique. Les images satellitaires à résolution métrique voire plus fine sont quant à elles réalisées sur des zones ciblées du territoire et sur programmation spécifique. Par avion ou par ULM (qui est désormais aussi performant et fiable que l'avion), la résolution

1. La résolution spatiale correspond à la taille représentée au sol par un pixel de l'image.

peut atteindre le cm. Enfin les drones, en plein essor, permettent d'avoir des images à résolution centimétrique sur des secteurs ciblés.

En parallèle, les possibilités offertes par les capteurs évoluent également : en photographie aérienne, il est désormais courant d'avoir des images dans les bandes spectrales du bleu, du vert, du rouge et du proche infrarouge. En imagerie satellitaire, les capteurs optiques couvrent le domaine du visible (c'est-à-dire du bleu au rouge), du proche infrarouge, mais aussi souvent le moyen infrarouge, tout comme une bande de longueur d'onde en transition entre le rouge et le proche infrarouge (« red edge ») disponible depuis peu.

Enfin, les possibilités d'observation « à haute fréquence » de tout point du territoire se sont multipliées, avec en particulier les satellites européens Sentinel-2 qui permettent une acquisition d'images tous les 5 jours (sous réserve de ciel clair) avec une résolution de 10 et 20 m.

Les potentialités de la télédétection optique² (c'est-à-dire mesurant le rayonnement solaire réfléchi par les surfaces) dans le domaine sylvo-sanitaire sont nombreuses et évoluent en permanence, tout comme les techniques d'interprétation et de traitement des données de télédétection. Mais la complexité des phénomènes en jeu ne permet pas d'en faire un outil de routine « clef en main », car de nombreux aspects font encore aujourd'hui l'objet de travaux de recherche et de développement.

2. Nous nous en tenons ici à la télédétection optique, car les applications des autres techniques de télédétection (RADAR, LiDAR, infrarouge thermique) pour le suivi sylvo-sanitaire se limitent encore aujourd'hui à la recherche.

Cette annexe du « guide de gestion des crises sanitaires en forêt », destinée aux non-spécialistes de la télédétection, vise à donner aux gestionnaires et décideurs quelques clefs sur l'apport et les limites de la télédétection, le choix et le coût des données, et les conditions de bonne mise en œuvre de cette technologie.

En bref

Les possibilités d'utilisation de la télédétection pour la gestion d'une crise sylvo-sanitaire dépendent du phénomène concerné, de son extension, de son rythme d'évolution et de la nature des informations recherchées, y compris en termes de niveau de détail et de précision.

Avant tout recours aux techniques de télédétection, il est donc indispensable de décrire assez précisément le phénomène sylvo-sanitaire en jeu, de préciser l'objectif et les informations souhaitées, de recenser les informations de terrain disponibles ou en organiser le recueil si nécessaire.

Actuellement, les applications opérationnelles les plus robustes concernent les phénomènes sylvo-sanitaires brutaux, à l'échelle du peuplement ou du massif forestier : les données les plus appropriées sont alors les images de satellites, à résolution décamétrique ou métrique, ou les photographies aériennes. À l'échelle de l'arbre ou de la placette, il est également possible d'évaluer les phénomènes plus ténus ou plus diffus à partir de photographies aériennes.

Toutefois, les acquis actuels concernent surtout la réalisation de **bilan** de dégâts à un instant donné. L'utilisation dans le cas de phénomènes plus ténus, diffus ou

évoluant lentement, ou le suivi « en temps réel » (ou du moins à des pas de temps très rapprochés) de phénomènes très évolutifs sont actuellement du domaine de la R&D.

Dans tous les cas, les données dans les longueurs d'onde du visible, du proche ou du moyen infrarouge sont adaptées, car sensibles aux altérations de la teneur en pigments, de la teneur en eau et de la structure interne des éléments végétaux, mais aussi aux modifications de la quantité de ces éléments et de leur structure spatiale.

Cependant le signal mesuré par télédétection est influencé par de nombreux facteurs qui peuvent masquer l'impact du phénomène sanitaire ou créer des confusions tels que :

- les conditions d'acquisition des images (par exemple : élévation et orientation du soleil, angle de visée, topographie) ;
- les caractéristiques du couvert : essence(s), hétérogénéité (y compris celles du sous-étage, de la strate arbustive ou herbacée), stade de développement ou structure, etc. ;
- le stade phénologique de la strate arborée, du sous-étage et de la strate herbacée ou arbustive ;
- les interventions sylvicoles, qui sont souvent les premières causes de changement dans le signal mesuré par télédétection.

Il n'existe pas de méthode unique applicable dans toutes les situations, ni de donnée « idéale » adaptée à toutes les situations. Il est donc nécessaire de se rapprocher de spécialistes pour étudier la faisabilité d'une évaluation par télédétection.

Dans tous les cas, des données de terrain restent indispensables, tant pour mettre au point les traitements que pour évaluer la qualité et la précision des résultats.

Bien évidemment, le recours à la télédétection doit être examiné en parallèle des autres moyens d'information disponibles ou mobilisables rapidement. Ainsi le recours à un inventaire sommaire de terrain peut être parfois suffisant pour obtenir une information globale et rapide ; il peut également être préférable en cas de besoin d'information très précise sur les symptômes et les causes du phénomène.

Quels sont les phénomènes observables par télédétection ?

Comme il s'agit de mesures à distance, la télédétection permet d'observer des symptômes, uniquement sur les parties végétales aériennes, ce qui n'assure pas l'identification de la ou des causes du problème sylvo-sanitaire.

En général, ces symptômes sont observés de manière relative :

- soit à une date donnée, par comparaison avec des peuplements ou des arbres supposés sains situés dans le même secteur géographique
- soit sur une succession de dates, par analyse de l'évolution des peuplements ou des arbres : avant le déclenchement du phénomène (images en archive), pendant l'épisode sanitaire, et éventuellement après.

Les manifestations des phénomènes sylvo-sanitaires les plus fréquentes sur les parties aériennes des arbres sont des colorations anormales du feuillage (parfois localisées

sur une partie du houppier ou des feuilles elles-mêmes), des altérations de la morphologie des houppiers (chutes ou consommation de feuilles par des ravageurs, mortalités de branches), des altérations de la forme et de la vigueur des éléments morphologiques (microphyllie, courbures de pousses liées à des attaques d'insectes) ou des effets moins visibles à l'œil comme des débuts de dessèchements.

Naturellement, la télédétection n'observe pas directement ces symptômes mais les variations de la quantité de rayonnement réfléchi dans l'espace ou dans le temps. Celui-ci résulte des échanges de rayonnement à l'intérieur du couvert (absorption, transmission, réflexion), qui dépendent de la longueur d'onde. Ces symptômes, révélateurs de perturbations de l'activité photosynthétique et hydrique, affectent la structure du houppier et de la canopée, et la teneur en pigments du feuillage. Ils ont donc potentiellement un impact sur la réponse du peuplement et donc sur les données de télédétection.

Dans le domaine couvrant le visible, le proche et le moyen infrarouge, le signal mesuré par télédétection correspond à l'énergie solaire réfléchi par les objets. Il est généralement exprimé en réflectance, c'est-à-dire en pourcentage du rayonnement incident.

Dans cette gamme de longueurs d'onde, la réflectance d'une feuille est influencée par la proportion des différents pigments foliaires – chlorophylliens et autres –, la structure cellulaire et la teneur en eau (figure 1).

À l'échelle de l'arbre ou du peuplement, qui est celle de mesure par télédétection, s'ajoutent l'effet de la quantité de surface

de feuillage (l'indice foliaire, c'est-à-dire la surface foliaire par unité de surface de terrain) et de son organisation spatiale. Mais la réflectance du peuplement est complexe et difficile à interpréter. En effet, elle intègre de nombreux éléments : ainsi pour des images à résolution (taille de pixel) de 10-20 cm, il s'agit du feuillage, mais aussi des parties de branches ou de troncs, du sous-étage, de la strate herbacée, du sol sous-jacent, des trouées, des ombres, voire des éléments hors forêt (chemin, piste, rocher, etc.). À moyenne résolution (100 cm ou plus) le pixel peut couvrir plusieurs peuplements différents. Dans le cas de peuplements mixtes, le pixel d'une image peut être composé de plusieurs essences différentes, d'états sanitaires parfois différents.

Par sa très grande résolution spatiale voire sa capacité d'observation en stéréoscopie, la photographie aérienne, acquise depuis un avion, un ULM ou un drone, permet quant à elle d'observer, à l'échelle de l'arbre, des modifications internes du houppier : coloration anormale du feuillage, désorganisation de la structure, branchaison « anarchique », mortalité importante de branches, éclaircissement du houppier (figure 2).

Évidemment l'usage de la télédétection n'est pertinent que si le phénomène a un impact suffisant sur le signal mesuré par les capteurs. Cela concerne donc généralement les phénomènes qui se traduisent de manière assez nette et sur une portion assez grande du pixel. Les phénomènes diffus ne touchant qu'une fraction du couvert arboré (par exemple quelques arbres dispersés dans le peuplement ou une seule essence dans des peuplements mélangés) ou peu mar-

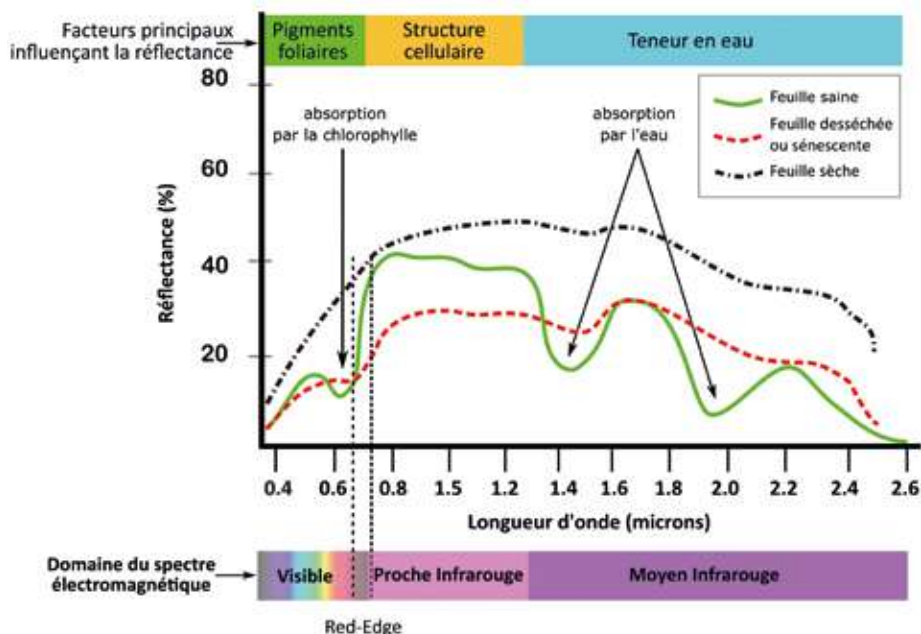


Figure 1 : Influence de l'état sanitaire sur le spectre de réflectance d'une feuille (principes).

Source : A. Jolly, courbe de réflectance adaptée du guide européen "Remote Sensing Applications for Forest Health Status Assessment" – second edition – 2000 et de Girard et Girard, 2010.



a) À gauche : image en couleurs naturelles à 5 cm de résolution, prise depuis un drone, sur un foyer de *Phytophthora ramorum* dans un mélèzin de la forêt de St-Cadou (29). Des arbres morts et des arbres avec la cime morte sont parfaitement visibles. À droite : vue depuis le sol d'un des arbres touchés.

b) Photographie aérienne à 5 cm de résolution en infrarouge couleur prise depuis un ULM montrant les effets de la chalarose sur le frêne : au centre un frêne présentant des mortalités de branches importantes et des bouquets de feuilles résiduels dans la partie centrale du houppier.

Figure 2 : Exemples de symptômes visibles à l'échelle du houppier sur des images aériennes à résolution centimétrique.

qués en termes de symptômes ne sont généralement pas ou très difficilement observables.

La télédétection pour quoi faire ? Avec quelles données ?

Le choix des données est à réaliser en fonction de plusieurs critères, en particulier :

- du phénomène sanitaire concerné : essence(s), type de symptômes, étendue géographique potentiellement impactée ou à surveiller, dynamique d'évolution du phénomène (si elle a pu être déjà observée sur le terrain ou lors de phénomènes comparables) ;
- de l'objet ou du domaine géographique à étudier : arbre, peuplement, forêt, massif, région, territoire national ;
- du rythme d'observation souhaité, et du délai maximal acceptable pour l'obtention des informations recherchées ;
- de la nature de ces informations : simple observation ou repérage du phénomène ? statistique sur l'ensemble d'un massif ou d'une région ? estimation globale à l'échelle du massif ou de la forêt ? carte détaillée à l'échelle de la parcelle ou du peuplement ?
- de l'ensemble des informations disponibles ou mobilisables rapidement : données de télédétection, mais aussi de terrain, ainsi que celles décrivant les peuplements avant le phénomène ;
- du budget et des moyens techniques mobilisables ;
- et enfin de l'état de l'art et des résultats issus de la recherche.

Trois critères (en plus de leur coût) sont à prendre en compte pour spécifier les données :

- le **domaine spectral** (bandes spectrales) des capteurs utilisés, en privilégiant les capteurs dans les domaines qui sont les plus sensibles aux symptômes des phénomènes sylvosanitaires (proche et moyen infrarouge notamment)
- leur **résolution** (taille de pixel) : le niveau de détail de l'observation (peuplement/arbre) est lié à la résolution des images. Un arbre mort ou dépérissant peut être vu et localisé sur une photographie aérienne à résolution décimétrique. Sur une image satellitaire à résolution décimétrique, la présence d'arbres morts ou dépérissants aura une influence sur la réflectance du pixel, sans qu'on puisse y localiser et identifier les arbres « responsables » de cette modification de réflectance. Sur une image à résolution hectométrique c'est la présence de nombreux arbres morts ou dépérissants, ou de larges plages touchées qui influence la réflectance mesurée au niveau du pixel.
- leur **fréquence d'acquisition**, importante en cas de besoin de comparaison avec un état antérieur, ou pour le suivi dans le temps du phénomène, mais aussi pour optimiser la possibilité d'avoir une image dans un délai raisonnable.

Le choix des données (et celui des méthodes d'analyse) dépend aussi du niveau d'information attendu et de la précision recherchée. Schématiquement, on peut identifier trois niveaux d'usage de la télédétection, qui correspondent aussi à différents niveaux en termes de données, de méthodologie et de moyens à mettre en œuvre : « voir », « détecter », « quantifier » ([tableau 1](#)).

Voir

Il s'agit généralement de confirmer (principalement à l'échelle d'une parcelle ou une forêt) ou d'illustrer la présence d'un phénomène sur un secteur où sa présence est déjà connue ou supposée. Dans ce cas, des prises de vue obliques par avion, ULM (voire hélicoptère) ou drone peuvent être suffisantes ; elles sont par ailleurs très efficaces pour communiquer. Des images aériennes verticales sont également pertinentes. La très fine résolution de ces images permet généralement une mise en évidence visuelle directe des symptômes. Il peut aussi être nécessaire de réaliser des comparaisons avec des images antérieures, ou un suivi dans le temps. Le recours à des données d'archives, comme la BDOrtho® IGN ou éventuellement des prises de vues aériennes obliques déjà réalisées sont alors à envisager.

Enfin, dans certains cas, une simple reconnaissance aérienne, avec observation en direct (généralement depuis un ULM volant à faible vitesse) peut être suffisante pour constater la présence et l'ampleur potentielle du phénomène. Il est conseillé de réaliser systématiquement des photos (ou des vidéos) géoréférencées lors du vol, à titre d'archives.

Détecter

Il s'agit de percevoir la présence ou l'apparition d'un phénomène à un endroit où il n'a pas encore été constaté mais où il est susceptible de se produire, ou dans une démarche de surveillance régulière d'un territoire, ou de parcelles (*monitoring*).

Cette application de la téledétection est plus complexe et repose souvent sur l'utilisation de données multi-tempo-

relles : comparaison d'images d'archives et d'images récentes, analyse de séries temporelles d'images.

Les données des satellites réalisant des couvertures exhaustives périodiques en routine sont bien adaptées pour ce type d'usage. C'est le cas par exemple des images MODIS (résolution spatiale 250 m ou 500 m, synthèse³ sur 10 jours d'acquisitions journalières) et des images Sentinel-2 (résolution spatiale 10 ou 20 m, acquisition tous les 5 jours, possibilité de synthèse mensuelle). Pour cet usage, il est alors nécessaire de disposer de données géographiquement précises (images orthorectifiées). L'utilisation de photographies aériennes est envisageable, notamment pour la détection de problèmes à l'échelle de l'arbre.

Quantifier

Il s'agit d'évaluer l'ampleur d'un phénomène (étendue surfacique, intensité), une fois celui-ci détecté (par téledétection ou non).

À l'échelle de l'arbre, du peuplement, voire de la forêt ou du massif, des prises de vue verticales par drone, ULM ou avion (à l'échelle de la forêt ou du massif), peuvent être efficaces, à condition d'être réalisées de manière à avoir une très bonne précision géométrique lors de l'orthorectification (dans le cas du drone, cela nécessite généralement l'installation de cibles de référence au sol). Les orthophotographies résultantes sont généralement interprétées visuellement, ou parfois (dans des approches de R&D) avec des méthodes numériques

3. Nous nous en tenons ici à la téledétection optique, car les applications des autres techniques de téledétection (RADAR, LiDAR, infrarouge thermique) pour le suivi sylvo-sanitaire se limitent encore aujourd'hui à la recherche.

OBJECTIF	EMPRISE D'INTÉRÊT	VECTEUR ADÉQUAT	NATURE DES DONNÉES
VOIR	Arbre	Drone	Photographie, vidéo
	Parcelle, bouquet d'arbres	Drone, ULM	Photographie, vidéo
	Forêt-massif	ULM, (hélicoptère) avion	Reconnaissance aérienne
			Photographie, vidéo
	Région	ULM, avion	Photos verticales, orthophotographies par ULM ou avion
DÉTECTER	Arbre	Drone, ULM	Photographie aérienne résolution 1-5 cm
	Parcelle, bouquet d'arbres	Drone, ULM, avion	Photographie aérienne résolution 5-25 cm
	Forêt-massif	Satellite	Images à très forte répétitivité - résolution spatiale 250-500 m
			Images à très forte répétitivité - résolution spatiale 10-30 m
			Images à très forte répétitivité - résolution spatiale 250-500 m
			Images à très forte répétitivité - résolution spatiale 10-30 m
Région			
QUANTIFIER	Arbre	Drone, ULM	Photographie aérienne résolution 1-5 cm
	Parcelle, bouquet d'arbres	Drone, ULM	Orthophotographies, résolution spatiale 5-10 cm
	Forêt-massif	Avion, ULM	Orthophotographies résolution spatiale 10-15 cm
	Forêt-massif	Satellite	Images à très forte répétitivité - résolution spatiale 10-30 m
	Forêt-massif		Images à faible répétitivité, résolution spatiale 0,5 -5 m
	Région		Images à très forte répétitivité - résolution spatiale 250-500 m
			Images à très forte répétitivité - résolution spatiale 10-30 m

Tableau 1 : Choix des données et des méthodes de télédétection pour la cartographie d'un phénomène sylvosanitaire : arbre de décision simplifié.

** CCTP = cahier des clauses techniques particulières.

reposant sur des méthodes de segmentation d'images et de classification, ce qui nécessite de définir un protocole de

notation en lien étroit avec la connaissance des peuplements sur le terrain⁴.

4. Il est possible de s'inspirer pour cela du guide méthodologique mis au point au niveau européen dans le contexte des dépérissements attribués à la pollution atmosphérique (European Commission – 2000 : « *Remote Sensing Applications for Forest Health Status Assessment* », seconde édition, 216 p., ISBN 92-828-8144-X).

EXEMPLES		DEGRÉ DE MATURITÉ	MODALITÉS D'ANALYSE
Acquisition spécifique		R&D	Visuelle
		Opérationnel	Visuelle
			Visuelle, en direct lors du vol
			Visuelle
Acquisition spécifique ou archives (*)		R&D	Visuelle
MODIS			Détection d'anomalies dans la série temporelle ; détection de changements entre dates
Sentinel-2 Landsat-8	Recherche		
MODIS	R&D		
Sentinel-2 Landsat-8	Recherche		
Acquisition spécifique		R&D	Visuelle
Acquisition spécifique, avec CCTP**		Opérationnel	Photo-interprétation selon protocole à mettre en place pour le projet
Acquisition spécifique, avec CCTP**		Opérationnel	
Sentinel-2, Landsat-8		R&D à opérationnel	Traitement d'images, détection de changements
Pléiades, Spot 6/7 (prochainement : Pléiades-Neo)		R&D à opérationnel	Traitement d'images, détection de changements (avec image d'archive antérieure)
MODIS		R&D	Détection d'anomalies dans la série temporelle, détection de changement entre dates
Sentinel-2 Landsat-8		Recherche, R&D	

(*) La détection d'un phénomène par photographie aérienne sur des images d'archives présente un intérêt pour la connaissance de l'apparition de phénomènes, mais peu d'intérêt pour la gestion. La surveillance de parcelles spécifiques (site de recherche, site patrimonial ou sensible) peut être envisagée par la réalisation de prises de vues aériennes régulières, mais est rarement mise en œuvre.

Remarque : des relevés cartographiques en direct, lors de vols de reconnaissance aérienne par ULM ou hélicoptère, peuvent être utiles pour estimer sommairement l'état des peuplements sur une forêt ou un massif. Cette approche, dite de « sketchmapping », consiste à repérer en vol (généralement par ULM ou hélicoptère) les secteurs touchés et à les reporter sur carte, en notant quelques informations telles que la taille de

la zone, l'intensité des symptômes visibles. Le « sketchmapping » reste toutefois délicat à mettre en œuvre et ne fournit pas de résultats précis. Il nécessite des opérateurs (pilote et observateur) entraînés, connaissant bien le territoire et disposant d'une certaine expertise forestière. Ce type d'approche est par exemple utilisé pour le suivi des foyers dus à *Phytophthora ramorum* dans les mélézins au Royaume-Uni.

À l'échelle de la forêt, du massif et plus encore de la région forestière, les données les plus pertinentes sont les images de satellites issues de couvertures régulières ou systématiques (ex : satellites à résolution décamétriques comme Sentinel-2 ou Landsat-8 : voir l'illustration en **figure 3**), ou issues de programmation spécifique (ex : satellites à résolution métrique ou infra-métrique comme SPOT 6/7 ou Pléiades). Leur analyse repose sur des méthodes de traitement numérique d'images, basées sur la réflectance des pixels ou de groupes de pixels, et utilisant des zones connues au sol comme références pour réaliser une classification en différents thèmes : peuplement sain / peuplement touché par le phénomène (avec parfois plusieurs classes d'intensité de dommages).

Remarque : Cas de la quantification de phénomènes diffus ou ténus

L'analyse à l'échelle d'une région entière de phénomènes diffus ou de phénomènes dont les symptômes sont peu marqués ne semble actuellement réalisable qu'en utilisant des données à très haute résolution (photographies aériennes ou images de satellites). Pour des raisons de coût et de volume des données à traiter, il semble illusoire de vouloir acquérir de telles données sur l'ensemble d'une région. La quantification de ce type de phénomène à l'échelle d'une région pourrait en revanche s'envisager de manière statistique, en utilisant une approche par échantillonnage : acquisition d'images satellitaires à très haute résolution ou photographies aériennes par transects par exemple.

Quelles sont les limites de la télédétection pour l'évaluation de phénomènes sylvosanitaires ?

La capacité à détecter un symptôme dépend de sa nature et de son intensité : plus le phénomène sanitaire se manifeste ra-

pidement et a un impact fort sur le peuplement, plus l'analyse par télédétection est performante.

La **répartition spatiale** du phénomène a également une influence importante sur la possibilité de distinction par télédétection : un dépérissement diffus touchant seulement des arbres disséminés dans le peuplement ou des bouquets d'arbres sera difficile à distinguer et nécessitera le recours à des données de très haute résolution. Inversement, un phénomène étendu, touchant de larges plages, sera plus aisément détecté.

Les **actes de gestion** (exploitation d'arbres morts, coupes sanitaires importantes, mais aussi coupes, éclaircies normales et autres travaux sylvicoles) compliquent l'analyse : d'une part, ils limitent la possibilité d'avoir des références de terrain précises sur l'état sanitaire des peuplements avant la coupe, d'autre part, des actes de gestion normaux peuvent être confondus avec un phénomène sanitaire. Ainsi une coupe rase va se traduire par une chute brutale des indices de végétation calculés sur les images⁵, tout comme une défoliation massive ou un rougissement brutal des houppiers ; le feuillage des rémanents laissés sur le sol se flétrit comme celui d'un arbre en mauvaise santé.

D'autres phénomènes influencent le signal mesuré par télédétection et peuvent être confondus avec un phénomène sanitaire ou, au contraire, le masquer : évolution phénologique au cours de la saison (avec des différences souvent importantes entre essences, dans le cas de peuplements mélangés, mais aussi pour une

5. Exemple : l'indice NDVI qui est la différence normalisée entre les réflectances dans le proche infrarouge et le rouge.

même essence en fonction des conditions stationnelles), évolution du sous-étage et de la strate herbacée, ombres plus ou moins importantes selon la saison et l'heure de « prise de vue » (avec un impact parfois majeur en zone de relief), mais aussi différences de structure ou de composition entre peuplements affectés par le même phénomène sanitaire. Ainsi une attaque de Scolytes dans un peuplement pur et fermé d'Épicéa aura un impact beaucoup plus élevé sur les images que le même type d'attaque dans un peuplement clair d'Épicéa ou dans un mélange Épicéa-Hêtre-Sapin.

En l'état des techniques et des moyens actuels (capteurs, systèmes d'observation, méthodes d'analyse), la télédétection est plus adaptée à l'observation ou à l'évaluation de l'ampleur d'un phénomène qu'à une alerte précoce ou à la détection d'un phénomène. Par ailleurs, la plupart des acquis opérationnels de l'usage de la télédétection pour l'évaluation de phénomènes sylvo-sanitaires concernent la réalisation de bilans de l'impact du phénomène, ces bilans pouvant éventuellement être renouvelés à plusieurs périodes de la crise. Peu de résultats sont encore disponibles concernant l'utilisation de la télédétection pour le suivi dynamique et l'aide à la gestion opérationnelle d'une crise évolutive. En effet, le délai de disponibilité de tels résultats, même quand il est optimisé au maximum, dépasse souvent le délai acceptable pour les prises de décision de gestion, notamment pour les problèmes sanitaires évoluant rapidement et pour lesquels des actions de gestion rapides sont à mettre en œuvre. Il faut en effet tenir compte du délai d'obtention des données de télédétection et des données de

terrain nécessaires, de la réalisation des pré-traitements (rectification géométrique, corrections radiométriques – en particulier des effets atmosphériques et topographiques), de l'analyse des données et de la mise à disposition des résultats auprès des utilisateurs.

Une piste (encore non évaluée) pour ce type de suivi serait de pouvoir disposer en routine, à pas de temps mensuels, de divers indices sensibles aux phénomènes sanitaires (indices de végétation, indices de sécheresse), notamment à partir des séries temporelles d'images Sentinel-2, qui pourraient être utilisées en « pré-zonage » des dommages supposés. Ce type d'approche appliqué en temps quasi-réel pourrait alors être aussi employé pour la détection en routine de l'émergence d'un phénomène évoquée précédemment. Elle suppose la mise en place d'infrastructures techniques et de méthodologies « prêtes à l'emploi » et rapidement mobilisables en cas de crise sylvo-sanitaire.

Les phénomènes étant de nature et d'évolution très variables et les peuplements forestiers concernés étant eux-mêmes également variés, la phase d'analyse nécessite encore bien souvent une mise au point méthodologique : analyse bibliographique, tests de divers indicateurs radiométriques pour identifier les plus efficaces pour mettre en évidence le phénomène, extension de la méthode à l'ensemble de la zone d'étude, évaluation de la précision des résultats...

Il faut également noter que l'analyse des données de télédétection nécessite toujours de disposer d'informations de terrain fiables et bien géoréférencées, décrivant le phénomène étudié (et le cas échéant ses divers stades et niveaux d'intensité).

VECTEUR		SATELLITE OU CAPTEUR	SURFACE PERTINENTE "OPTIMALE"	
Satellite	Moyenne résolution	TERRA - MODIS	Emprise de scène : 2330 km	
		Sentinel-3 OLCI	Emprise de scène : 1250 km	
	Haute Résolution	Landsat-8	Emprise de scène : 185x185 km	
		Sentinel-2	Emprise de scène : 290x290 km	
	Très Haute Résolution	SPOT 6/7	Emprise de scène : 60x60 km	
		Pléiades	Emprise de scène : 20x20 km	
Aérien	Avion ULM	Caméra RVB + PIR Acquisition stéréo à fort recouvrement	> 500 ha	
	Drone	Caméra RVB (ou RVB + Proche IR) Acquisition stéréo à fort recouvrement	50–500 ha selon autorisations de vol et contexte (plaine, montagne)	

Tableau 2 : Exemples de coûts d'acquisition de données pour l'utilisateur final.

Ces références doivent être obtenues selon un échantillonnage spatial cohérent avec le type de données de télédétection. Elles sont indispensables pour la mise au point de l'analyse et pour l'évaluation des résultats⁶.

Le changement d'échelle pour généraliser une méthode d'analyse mise au point

sur un secteur restreint à une emprise régionale ou de forêt est également une étape délicate. L'expérience montre qu'il est souvent nécessaire sinon de redévelopper la méthode d'analyse, du moins de l'ajuster ou de la re-calibrer à partir de références locales.

Enfin, lorsque la surface à analyser dépasse celle d'une forêt ou d'un petit massif forestier, l'accès aux données, leur stockage, leur traitement et ensuite la diffusion des cartes résultantes nécessite une infrastructure technique adéquate encore peu disponible actuellement (voir partie « Conditions de mise en œuvre »).

6. Les méthodes dites « d'intelligence artificielle » souvent citées comme des solutions possibles n'échappent bien sûr pas à cette règle, bien au contraire, puisqu'elles ont besoin d'être entraînées initialement par un grand nombre de références connues. Ce n'est qu'après cette phase d'entraînement primordiale qu'elles pourraient ensuite permettre de réduire le nombre de références de terrain.

RÉSOLUTION D'IMAGE	COÛTS POUR L'UTILISATEUR	REMARQUES
250 à 1000 m selon les bandes spectrales (36 bandes)	gratuit	Synthèse sur 10 jours des acquisitions journalières, produits pré-traités disponibles (ex : plusieurs indices de végétation, indice foliaire, évapotranspiration...)
300 m (21 bandes spectrales)	gratuit	2 produits pré-traités disponibles (indice de végétation, indice de teneur en chlorophylle)
Panchromatique = 15 m Multispectral = 30 m	gratuit	Produits pré-traités disponibles : détection nuages, correction atmosphérique, réflectance et indices de végétation
Visible et proche IR = 10 m Red-edge et moyen IR = 20 m	gratuit	Produits pré-traités disponibles : détection nuages, correction atmosphérique, réflectance, synthèses mensuelles
Panchromatique = 1,50 m Multispectral = 6 m	Dispositif DINAMIS pour les "Utilisateurs Institutionnels Autorisés" (*) dans la limite du "quota" et du budget DINAMIS : - images d'archives gratuites - programmation gratuite	Si "quota" dépassé, financement de tentatives d'acquisition supplémentaires. Ex : "tranche" de 20k€ pour 20 tentatives d'acquisition sur une zone (3 600 km ²)
Après rééchantillonnage : Panchromatique = 0,5 m Visible + proche IR = 2 m		Si "quota" dépassé : - image d'archive = 1,40 € / km ² - programmation mono : 1,80 € / km - programmation stéréo : 3,60 € / km ² Commande minimum 100 km ²
10 à 15 cm	4 à 10 € / ha selon l'emprise, sa forme, le recouvrement entre images, la résolution	Commande spécifique à prestataire
1 à 10 cm	10-20 € / ha en contexte simple (coût plus élevé si contraintes juridiques ou techniques de vol)	Commande spécifique à prestataire ou réalisation en interne si équipement et opérateurs disponibles

(*) dans les autres cas, l'utilisateur devra demander un devis commercial à Airbus DS

Quels sont les coûts d'acquisition des données de télédétection ?

De même qu'il n'existe pas de méthode standard, il n'est pas possible de donner des coûts précis. Certaines données sont accessibles librement sans coût d'acquisition pour l'utilisateur, comme les données des satellites Landsat ou Sentinel, grâce à la politique de mise à disposition des agences spatiales ayant financé ces systèmes. En France, des dispositifs ont été mis en place pour permettre aux « Utilisateurs Institutionnels Autorisés » (institutionnels publics ou entreprises

agissant dans le cadre de missions de service public) l'accès gratuit ou à coût réduit par rapport aux tarifs commerciaux à des données Pléiades et SPOT 6/7, dans la limite de quotas définis annuellement. Mais il existe un grand nombre d'opérateurs privés commercialisant les données de leurs propres systèmes d'observation : par exemple Airbus DS, Planet, Digital Globe, etc.

À titre d'illustration, le **tableau 2** indique le coût de quelques-unes des données les plus facilement mobilisables.

Mais le coût d'acquisition des données n'est pas le seul élément à prendre en

compte. Il convient en effet d'y ajouter les coûts liés à l'analyse et au traitement des données, aux relevés de terrain et à la diffusion des résultats. À titre d'exemple, dans une étude sur la cartographie de dégâts de Scolytes, Delplace (2008) évalue le coût d'acquisition d'images (images à résolution décimétrique SPOT 3/4) à seulement 3 % du coût total, une fois la méthode mise au point : 0,32 € / ha en

moyenne dont 0,01 € / ha pour l'acquisition de l'image, avec une précision de détection des dégâts évaluée à 61 %. Dans la même étude, avec des images résolution métrique Quickbird, la proportion représentée par l'achat des images devient plus élevée : 0,61 € / ha dont 0,28 € / ha pour l'acquisition de l'image, soit 45 %, avec une précision de détection des dégâts évaluée à 81 %.



a) Synthèse mensuelle des images Sentinel-2 de mai 2019, soit avant le début des défoliations



b) Image Sentinel-2 du 27/06/2019, date proche du pic de défoliation



c) Cartographie des défoliations obtenue par traitement des images – résultat final

Figure 3 : Défoliations de peuplements feuillus dues au Bombyx disparate en forêt de Champlitte (70) en été 2019 : cartographie des défoliations réalisée par le MAA/DSF (Images Sentinel-2 : source Copernicus et THEIA).

Quelles sont les conditions de mise en œuvre pour évaluer un phénomène sanitaire par télédétection ?

Il s'agit d'un domaine technique : l'acquisition des données et leur exploitation nécessitent des compétences spécialisées et des moyens adaptés. Les gestionnaires ou décideurs souhaitant recourir à la télédétection et experts en la matière doivent donc travailler ensemble.

À partir des expériences variées menées ou étudiées par les auteurs, on peut retenir les principales préconisations suivantes :

1) Décrire le besoin

- Connaître et décrire le phénomène sylvo-sanitaire : en effet, les apports de la télédétection dépendent de la nature du phénomène (essences touchées, symptômes), de sa répartition potentielle (individus isolés, plages de peuplements), de son évolution (spatiale et temporelle) potentielle ;
- Préciser la zone géographique et le(s) type(s) de peuplement(s) concerné(s), la nature de l'information recherchée (*confirmation de la présence locale du phénomène ? suivi dans le temps ? évaluation des surfaces touchées ?*), la finesse (*par exemple plus petite surface cartographiée*) et la précision souhaitées (niveaux d'omissions et de surdétections acceptables), la période temporelle ou la date de l'information souhaitée, l'échéance de mise à disposition des résultats ;

- Préciser les autres moyens envisageables, en dehors de la télédétection, pour obtenir ces informations, et les attentes spécifiques éventuelles vis-à-vis de la télédétection ;
- Anticiper quand cela est possible : en fonction des besoins, il peut être envisageable de programmer par exemple les acquisitions de données de télédétection (et les campagnes d'observations de référence sur le terrain) à l'été de l'année précédente pour préparer le programme de coupes sanitaires de la saison suivante.

2) Mettre en place les relevés de terrain nécessaires pour la calibration des méthodes et la validation des résultats

Le recours à des protocoles éprouvés et homogènes est évidemment préconisé (ex : protocole DEPERIS). S'agissant ensuite de combiner ces informations avec des données géoréférencées et surfaciques (le pixel), les relevés de terrain doivent correspondre à des surfaces homogènes (type de peuplement et état sanitaire), de taille suffisante, en nombre suffisant, définies en fonction des données de télédétection utilisées, et localisées de manière précise : un GPS à correction différentielle (précision de localisation métrique après correction) est conseillé autant que possible.

Par ailleurs, ces relevés de terrain doivent autant que possible couvrir l'ensemble des situations dans lesquelles le phénomène est susceptible de se produire (types de peuplements, classes d'âges, situation topographique, etc.) et représenter également des secteurs de peuplements non atteints.

3) Choisir les données et les méthodes de traitement

Il n'existe pas de méthode unique applicable dans toutes les situations. Les choix sont donc à adapter au cas par cas (voir partie « La télédétection pour quoi faire ? avec quelles données ? »). Une veille ou une recherche sur l'état de l'art est par ailleurs nécessaire pour guider la démarche.

4) Mettre en place le budget nécessaire

Le coût des données est très variable selon la nature des données et leur mode d'acquisition et de diffusion. Le budget nécessaire doit également intégrer l'analyse, le traitement, la qualification et la diffusion des données (voir partie « Quels sont les coûts d'acquisition de l'information par télédétection ? »).

5) S'assurer de la disponibilité de l'infrastructure technique adéquate

La réalisation d'une carte de dégâts sur une forêt ou un massif de moins de 15 000 ha peut aisément s'envisager sur un ordinateur de bureau moderne ou une station de travail, avec des logiciels de traitement d'image issus d'éditeurs commerciaux ou des logiciels libres comme Orfeo Tool Box. Mais l'analyse à l'échelle régionale, surtout si elle nécessite le traitement de séries temporelles de type Sentinel-2 est vite bloquante sur ce type de système.

La mise en place d'infrastructure d'accès, de stockage et de traitement en réseau de ces images s'avère alors quasiment incontournable. Pour l'accès aux données, des infrastructures destinées aux opérateurs publics⁷ ou chargés de missions de

services publics et à la recherche ont été initiées avec l'Équipement d'Excellence (Equipex) Geosud et se poursuivent actuellement avec la plateforme Dinamis. D'autres systèmes d'accès pour tous aux données Sentinel issues du programme Copernicus ont également été initiés. Toutefois ces solutions sont encore en cours de mise en place. Il est indispensable de poursuivre cette mise en place et d'assurer leur pérennisation pour disposer dans un futur le plus proche possible d'infrastructures partagées pour :

- accéder aux données « prêtes à l'emploi »,
- calculer aisément et de manière standardisée les principaux indicateurs radiométriques utiles,
- réaliser les traitements d'images nécessaires,
- assurer la diffusion des résultats et la pérennité de leur conservation.

7. « Utilisateurs Institutionnels Autorisés » ou « UIA ».

ANNEXE 3

Retour d'expérience de crise sanitaire

Modèle de document à établir en fin de crise
et après analyse des événements qui se sont déroulés

N.B. : une méthodologie pour la réalisation d'un retour d'expérience est disponible dans le « plan tempête » du ministère chargé des forêts, fiche réflexe n°15 : <https://agriculture.gouv.fr/plan-national-de-gestion-de-crise-tempete-pour-la-filiere-foret-bois>

Personnes ayant participé
au retour d'expérience

-
-
-

1- Description des facteurs ayant déclenché la crise sanitaire

2- Entrée en crise sanitaire

- Date d'entrée en crise :
- Responsable ayant déclaré la situation de crise :
- Critères ayant contribué à la déclaration de crise sanitaire :
- Y a-t-il eu cellule de crise ? (*Composition ; organismes concernés*)
- Y a-t-il eu journal de crise ? (*Lieu de consultation possible*)

3- Sortie de crise sanitaire

- Date de sortie de crise :
- Responsable ayant déclaré la fin de crise :
- Critères ayant contribué à la déclaration de fin de crise sanitaire :

4- Déroulement de la crise et des actions opérationnelles menées

- Principales actions menées (*nature, date, efficacité*) :
 - Principaux partenaires associés :
 - Estimation des dégâts et/ou nuisances générés :
 - impacts sur la santé humaine
 - Impacts sur la pérennité de la forêt
 - surfaces forestières concernées
 - volumes de bois concernés
 - impacts sur la filière bois
 - impacts sur le milieu et l'environnement
- ...

Conclusions à retenir / Propositions d'amélioration / Actions à engager	Responsable	Délai

Établi le, par (*l'animateur de la cellule de crise
a vocation à établir ce retour d'expérience*).

Validé le, par (*le responsable de la cellule de crise*).

Transmis pour archivage aux organismes ayant contribué à résoudre la crise sanitaire.

ANNEXE 4

Se documenter : proposition bibliographique et références citées

Sources générales

- Revue Forestière Française : articles parus de 1949 à 2002 téléchargeables gratuitement : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/4752>
- Forêt Méditerranéenne : <http://www.foret-mediterranee.org/revue.htm>
- Rendez-vous techniques de l'ONF : articles téléchargeables gratuitement (http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/@@display_media.html?oid=IN00000006da)
- Unasylva : articles téléchargeables gratuitement : <http://www.fao.org/forestry/unasylva/fr/>
- MAA/DGPE/SDFE/SDFCB/BgeD (2018) Plan national de gestion de crise tempête pour la filière forêt-bois, septembre 2018, 66 p. :
<https://agriculture.gouv.fr/plan-national-de-gestion-de-crise-tempete-pour-la-filiere-foret-bois>
Lien où peut être téléchargé la « valise de crise », qui contient des fiches thématiques synthétiques dites « fiches réflexe » portant par exemple sur :

Valise de crise : cellule forestière de crise (CFC) (PDF, 82.78 Ko)
<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91375?token=191ebe410f36bf2dd56e91ba28e3846e>

Valise de crise : tableau de bord et main courante (PDF, 132.4 Ko)
<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91376?token=66b4e6db8126ab69f171ea318df21a9f>

Fiche réflexe 1 Aides (PDF, 45.71 Ko) :
<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91377?token=0aeefba29cc75f1806ea0eb4c875b465>

Fiche réflexe 2 Organisation des services de l'État (PDF, 68.18 Ko)
<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91378?token=7145b01b9ee2c6d244fe7a5159975a19>

Fiche réflexe 3 Communication interne à la filière (PDF, 40.76 Ko)
<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91379?token=6b608f423a5daba6dbafe66f856d5ba4>

Fiche réflexe 5 Estimation des dégâts par les organismes de cartographie (PDF, 144.09 Ko)
<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91380?token=329aef4ba679069ac8ddbb42dea5acfa>

Fiche réflexe 6 **Opérations de déblaiement** (PDF, 475.57 Ko)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91381?token=434de0b27ac851913b219f3b256fabcc>

Fiche réflexe 7 **Sécurité du public** (PDF, 1.03 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91382?token=28821f909780d5e1607065584e06034f>

Fiche réflexe 8 **Sécurité des intervenants** (PDF, 791.81 Ko)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91383?token=c3e9bd13f519bca897e236c1963b1fe4>

Fiche réflexe 9 **Renforts aux structures et organisation exceptionnelle du travail**
(PDF, 41.16 Ko)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91384?token=a76ef1ecfa9fe6e4a5e212e86ab285c3>

Fiche réflexe 10 **Récolte des bois** (PDF, 1.35 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91385?token=2e3da9c42b5aa08b90d77bf4d62ab6df>

Fiche réflexe 11 **Transport des bois** (PDF, 968.21 Ko)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91386?token=7589874de00feaceb9e9d2b85a23734a>

Fiche réflexe 12 **Stockage des bois** (PDF, 11.77 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91387?token=d1e045cb82bf607815cbf39553ccce93>

Fiche réflexe 13 **Santé des forêts** (PDF, 97.81 Ko)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91388?token=f264b5a58ec5555b6354e11abc2c60ba>

Fiche réflexe 14 **Nettoyage et reconstitution des forêts** (PDF, 6.06 Mo)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91389?token=20bfff671e8668f01b05acbc91335006>

Fiche réflexe 15 **Retour d'expérience (RETEX)** (PDF, 418.57 Ko)

<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/91390?token=46c08608345963eedacea49ba846485c>

■ Département de la santé des forêts : actualité phytosanitaire en ligne et articles de synthèses téléchargeables gratuitement : <https://agriculture.gouv.fr/sante-des-forets-ressources-et-publications-0> (références signalées par « DSF » dans le tableau).

Bibliographie détaillée

1. Agard J., Schipper E. Lisa F., Birkmann J., Campos M., Dubeux C., Nojiri Y., St. Clair A. (Eds.), *WGII AR5 Glossary. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2014.
2. Anderegg W. R. L., Kane J. M., Anderegg L. D. L., "Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress", *Nature Reports Climate Change*, 3, 2013, pp. 30-36 DOI: 10.1038/NCLIMATE1635.
3. Barthod C., « Sylviculture et risques sanitaires dans les forêts tempérées. 1^{re} partie », *Revue Forestière Française*, 1994, pp. 609-628, DOI:10.4267/2042/26592
4. Barthod C., « Sylviculture et risques sanitaires dans les forêts tempérées. 2^e partie », *Revue Forestière Française*, XLVI, 1995, pp. 39-53. DOI:10.4267/2042/26622
5. Bastien, Gauberville C. et al., *Vocabulaire forestier. Écologie, gestion et conservation des espaces boisés*, Institut pour le Développement Forestier : 2011, 554 p., ISBN : 978-2-904740-99-2
6. Bec R., *Gérer les crises liées au changement climatique en forêt du Haut-Languedoc*, Centre régional de la propriété forestière d'Occitanie (CRPF), Projet FORECCAS^T, 2018, 35 p. http://www.foreccast.eu/wmedias/original/actions_projet/c4/Guide_pour_visualisation.pdf
7. Becker M., Lévy G., « Le dépérissement du Chêne, les causes écologiques : exemple de la forêt de Tronçais et premières conclusions », *Revue Forestière Française*, 35(5), 1983, pp. 341-356.
8. Bertin S. & Perrier C. (Coordination), Balandier P., Becquey J., Bonal D., Bréda N., Riou-Nivert P., Sevrin E., *Le bilan hydrique des peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion*, RMT AFORCE, 2016, 189 p., ISBN : 978-2-916525-35-8.
9. Bréda N., « Séquences climatiques et successions de sécheresse : outils d'analyse et exemples sur la période 1979-1994 », *Les Cahiers du DSF*, 1 (La santé des forêts [en France] en 1995), 1996, pp. 45-47.
10. Bréda N., Peiffer M., *Dépérissement forestier en vallée du Rhin : Étude du bilan hydrique des chênaies de la forêt domaniale de la Harth (Haut-Rhin) et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des chênes*, Programme INTERREG II, Rapport final convention ONF-INRA, 1999, 60 p.
11. Bréda N., Peiffer M., "Vulnerability to forest decline in context of climate changes: new prospects about an old question in forest ecology", *Annals of Forest Sciences*, 71, 2014, pp. 627-631, DOI 10.1007/s13595-014-0411-3
12. Bréda N., Peiffer M., Dupouey J. L., Gérémy F., Schipfer R., Kieffer C., « Le rôle clé des déficits hydriques dans le dépérissement de chênaies en forêt de la Harth (Alsace du sud) établi par une analyse dendroécologique et écophysiologique », *Cahiers du DSF* (Département de la santé des forêts), 1, Paris, 1999, pp. 92-94.
13. Bréda, N., Granier, A., Aussenac G., « La sécheresse de 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysiologique et influence sur les arbres forestiers », *Revue Forestière Française*, 61-2, 2004, pp. 109-131.

14. Cano B. et al., Dossier : Chalarose du frêne, une filière mobilisée, Forêt-entreprise, 243, 2018, pp. 16-56.
15. Cano B., Cousseau G., *Guide d'aide à la décision pour la gestion des frênaies menacées par la chalarose en Hauts-de-France*, Centre régional de la propriété forestière Hauts-de-France, 2013, 11 p. https://hautsdefrance.cnpf.fr/data/guide_chalarose_frene_3.pdf
16. Claessens H., Claessens L., Longrée C., Nivelles L., Tahir B., Lisein J., Lecomte H., « Près de 20 ans après sa grave crise sanitaire, où en est la hêtraie ardennaise ? », *Forêt.Nature*, 142, 2016, pp. 30-36.
17. Clopeau A., *Étude de la régénération naturelle en forêt domaniale de Compiègne*, Mémoire de fin d'étude dominante Gestion Forestière, AgroParistech, 2018, 108 p. Disponible sur : https://infodoc.agroparistech.fr/index.php?lvl=notice_display&id=195472
18. Collectif, « Les dépérissements d'arbres forestiers : causes connues et inconnues », *Revue forestière française*, 46, numéro spécial, 1994, 207 p.
19. Cours J., Nageleisen L.-M., Touffait R., « Gestion forestière intégrée des insectes ravageurs : exemple par l'étude de la niche écologique du hanneton forestier (*Melolontha hippocastani* Fabr. 1801) », *Revue Forestière Française*, 2019, 71, pp. 553-567. doi:10.4267/2042/70886
20. CRPF Hauts-de-France – Cano B., La chalarose du Frêne en Hauts-de-France, Rapport d'expertise 2016, https://chalfraux.cnpf.fr/data/rapport_expertise_chalarose_hdf_2016.pdf
21. Dale V. H., Joyce L. A., McNulty S., Neilson R. P., "The interplay between climate change, forests, and disturbances", *The Science of the Total Environment*, 262, 2000, pp. 201-204.
22. Delatour C., « Dépérissement des Chênes et pathogènes », *Revue Forestière Française*, XLII-2, 1990, pp. 182-185, DOI:10.4267/2042/26059
23. Delatour C., « Le dépérissement des Chênes en Europe », *Revue Forestière Française*, 35(4), 1983, pp. 265-282.
24. Delplace D., *Étude de méthodes de détection de foyers de Scolytes (Coleoptera, Curculionidae) dans l'est de la France. Comparaison de techniques d'inventaires au sol, de surveillance aéroportée et de télédétection aérienne et satellitaire*, Thèse, Université Libre de Bruxelles, 2008, 150 p., disponible sur : <https://difusion.ulb.ac.be/vufind/Record/ULB-DIPOT:oi:dipot.ulb.ac.be:2013/210541/Holdings>
25. Dentand F., « Dépérissements forestiers dans les Alpes-Maritimes, Actions déjà entreprises par les communes forestières et l'Office national des forêts », *Forêt méditerranéenne*, XXIX 2, 2008, pp. 195-200.
26. Deshayes M., Stach N., Malphettes C., « Utilisation des images satellitaires pour l'observation des défoliations dues au *Bombyx disparate* en forêt de Haguenau », *Les Cahiers du DSF*, 1 (La santé des forêts [en France] en 1997), 1998, pp. 87-89.
27. Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt Nouvelle-Aquitaine, Le Nématode du Pin, 2018 : <http://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/Nematode-du-pin.1083>

28. Dubois-Coli C., Nageleisen L.-M., Bréda N., Suivi d'un massif forestier très sensible à la sécheresse : l'observatoire de la Harth, historique et perspectives, *Rendez-vous techniques ONF*, 13, 2006, pp. 85-92.
29. Dupouey J., Bréda N., Gérémy F., Behr P., Geldreich P., Duc G., Confirmation du rôle important des facteurs prédisposants lors du dépérissement des chênes en forêt de Haguenau par une étude dendrochronologique, *Les Cahiers du DSF*, 1 (La santé des forêts [en France] en 1997), 1998, pp. 85-87.
30. European Commission, *Remote Sensing Applications for Forest Health Status Assessment*, second edition, 2000, 216 p., ISBN 92-828-8144-X
31. GIP ECOFOR, Journée d'information et de débat « pluies acides, 20 ans après », 2005 : <http://www.gip-ecofor.org/journee-dinformation-et-de-debat-pluies-acides-20-ans-apres/>
32. Gaudry J., Stéphane Brault S., Duez F., La problématique hanneton en forêt : synthèse des connaissances 2013-2016, Forêts publiques de l'Oise. Département de la santé des forêts, juillet 2017, 2017, 14 p. : <https://agriculture.gouv.fr/la-problematique-du-hanneton-en-foret-bilan-des-connaissances-acquises-de-2013-2016-presentation-en>
33. Girard M. C., Girard C. M., *Traitement des données de télédétection*, Environnement et ressources naturelles, 2^e édition, Dunod, Paris, 2010, 553 p. ISBN 978-2-10-054850
34. Goudet M., Nageleisen L.-M., « Protocole DEPERIS : notation simplifiée de l'aspect du houppier des arbres feuillus dans un contexte de dépérissement », *Forêt-entreprise*, 246, 2019, pp. 36-40.
35. Guillaumin J., Bernard C., Delatour C., Belgrand M., « Le dépérissement du Chêne à Tronçais : pathologie racinaire », *Revue Forestière Française*, 35(6), 1983, pp.415-424.
36. Guyon D., Bréda N., Imagerie optique multispectrale satellitaire pour des applications forestières, *Observation des surfaces continentales par télédétection*, 1, ISTE Editions, 2016, Collection Système Terre Environnement - Série Télédétection pour l'observation des surfaces continentales, ISBN : 978-1-78405-158-7 <https://prodinra.inra.fr/record/384349>
37. Huart O., Proft M. D., Grégoire J.-C., Piel F., Gaubicher B., Carlier F.-X., Maraïte H., Rondeux J., « Le point sur la maladie du Hêtre en Wallonie », *Forêt Wallonne*, 64, 2003, pp. 2-16.
38. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.
39. Konkin D., Hopkins K., « Apprendre à s'adapter aux changements climatiques et aux perturbations forestières catastrophiques », *Unasylva*, 60(231/232), 2009, pp. 17-23.
40. Lagadec P., « Crises "hors cadres" : oser un enseignement », *Traité de bioéthique*, ERES, Toulouse, 2010, pp. 469-485.

41. Landmann G., « Les changements de productivité forestière, le dépérissement des forêts et la presse : radioscopie d'un évènement médiatique », *Revue Forestière Française*, 54(3), 2002, pp. 215-226.
42. Landmann G., Bréda N., Houllier F., Dreyer E., Flot J.-L., « Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelles conséquences pour les forêts françaises ? », *Revue Forestière Française*, 55(4), 2003, pp. 299-308.
43. La Spina S., De Cannière C., Dekri A., Grégoire J. C., "Frost increases beech susceptibility to scolytine ambrosia beetles", *Agricultural and forest entomology*, 15, 2013, pp. 157-167. DOI:10.1111/j.1461-9563.2012.00596.x
44. Latte N., Lebourgeois F., Kint V., Drouet T., Claessens H., « Le hêtre face au changement climatique : le cas de la Belgique », *Revue Forestière Française*, 69 (3), 2018, pp. 205-218.
45. Maréchal G., Ladier J., « Veille sanitaire et dépérissement forestier dans le département des Alpes-Maritimes », *Forêt méditerranéenne*, t.XXXII n°2, 2011, pp. 135-140.
46. Melieres M. A., Riou-Nivert P., « Scolytes, chablis, canicules et changement climatique : un mélange explosif ! », Première et deuxième partie, *Forêt-entreprise*, 248, 2019, pp. 54-60.
47. Melieres M. A., Riou-Nivert P., « Scolytes, chablis, canicules et changement climatique : un mélange explosif ! », Troisième partie, *Forêt-entreprise*, 249, 2019, pp. 6-11.
48. Millar C. I., Stephenson N. L., "Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance", *Science*, 349, 2015, pp. 823-826. DOI:10.1126/science.aaa9933
49. Molleveux J., « La faillite du Chêne tardif à Vierzon », *Revue des Eaux et Forêts*, 64, 1926, pp. 614-617.
50. Murray V, Ebi KL, IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX), *Journal of Epidemiology and Community Health*, 66, 2012, pp. 759-760. DOI:10.1136/jech-2012-201045 <https://jech.bmj.com/content/jech/66/9/759.full.pdf>
51. Nageleisen L.-M., « Les dépérissements d'essences feuillues en France », *Revue Forestière Française*, 45(6), 1993, pp. 605-620.
52. Nageleisen L.-M., Goudet M., Saintonge F.-X., *Guide de notation simplifiée de l'aspect du houppier des arbres feuillus dans un contexte de dépérissement (Protocole DEPERIS)*, ministère de l'Agriculture, Département de la santé des forêts, 2017, 12 p. <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2018-433/telechargement>
53. Nageleisen L.-M., Huart O., « Problèmes sanitaires d'actualité en hêtraie : la maladie du Hêtre dans les Ardennes », *Revue Forestière Française*, 57 (JST INRA 2003 « L'avenir du Hêtre dans la forêt française »), 2005, pp. 249-254.
54. Nageleisen L.-M., Saintonge F.-X., Piou D., Riou-Nivert P., *La santé des Forêts – Maladies, insectes, accidents climatiques – Diagnostic et prévention*, DSF/IDF, 2010, 608 p., ISBN 9782904740954

55. Nageleisen L.-M., Schmuck H., Legay M., Bréda N., Dépérissement du Chêne pédonculé en Lorraine : des crises qui se succèdent..., Département de la santé des forêts, Avril 2013, 2013, 9 p. <https://www.yumpu.com/fr/document/view/16879008/deperissements-de-chene-pedoncule-en-lorraine-ministere-de-l->
56. ONF, Stratégies de gestion adaptative des coupes et des travaux dans les forêts infestées par les hannetons, Coordination Régine TOUFFAIT, Version A 2018, 25 p., Document interne ONF.
57. Perret S. et al., *DoLar : un projet sur l'adaptation de la sylviculture du Pin laricio en France dans le contexte de la maladie des bandes rouges*, IRSTEA, Colloque CAPSIS à Nancy du 8 avril 2015, 21 p. http://capsis.cirad.fr/capsis/_media/documentation/reports/18_perrets.pdf
58. Piou P., Saintonge F.-X., Marçais B., « Quel avenir pour le Pin laricio face à la maladie des bandes rouges ? », *Forêt-entreprise*, 224, 2015, pp. 10-17.
59. Pischedda D. (Coord.), *Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL »*, Office national des forêts / FCBA Eds., 2009, 110 p. ISBN : 978-2-84207-334-3
60. Pischedda D., Helou T. E. (Coord.), *PRACTISOLS – Guide sur la praticabilité des parcelles forestières*, Office national des forêts / Fédération nationale entrepreneurs des territoires, 2017, 48 p., ISBN : 978-2-84207-500-10
61. Richer de Forges Y., « La forêt domaniale de Vierzon », *Revue Forestière Française*, XXIX, 1977, pp. 103-115.
62. Rigling A., Dobbertin M. et al., « Les chênes pubescents chassent-ils les pins sylvestres valaisans ? », *Notice pour le praticien WSL*, 41, 2006, 16 p.
63. Rondeux J., Bourland N., Huart O., Lecomte H., « Importance et dispersion de la maladie du Hêtre en Région wallonne. Premiers résultats d'un inventaire spécifique », *Silva Belgica*, 109, 2002, pp. 22-30.
64. Sallé A., Maison C., Baubet O., « Sensibilité, tolérance et résistance des peupliers au Puceron lanigère », *Forêt-entreprise*, 225, 2015, pp. 58-63.
65. Sardin T., *Les frênaies chalarosées : guide de gestion*, Paris : ONF, 2017, 39 p. (sur demande)
66. Schvester D., Fabre J., « Le dépérissement du Pin maritime des Maures et de l'Esterel provoqué par *Matsucoccus feytaudi* : connaissances acquises de 1964 à 1990 – 1^{re} partie : historique et rôle des insectes », *Forêt méditerranéenne*, 22(3), 2001, pp. 213-234.
67. Schvester D., Fabre J., « Le dépérissement du Pin maritime des Maures et de l'Esterel provoqué par *Matsucoccus feytaudi* : connaissances acquises de 1964 à 1990 2^e partie : dynamique des populations de la Cochenille et ses facteurs », *Forêt méditerranéenne*, 22(4), 2001, pp. 303-331.
68. Spittlehouse D. L., *Adaptation to Climate Change in Forestry*, In: Proceedings Species at Risk 2004 Pathways to Recovery Conference, T.D. Hooper editor, Victoria, B.C. mars 2004, 5 p.
69. Spittlehouse D. L., Stewart R. B., "Adaptation to climate change in forest management", *BC Journal of Ecosystems and Management*, 4, 2004, pp. 7-17.

Ouvrage collectif coordonné par :

Louise BRUNIER (CNPF),
Frédéric DELPORT (MAA/DSF),
Xavier GAUQUELIN (ONF)

Groupe de conception :

Nathalie BREDAS (INRAE)
Louise BRUNIER (CNPF)
Benjamin CANO (CRPF Hauts-de-France)
Frédéric DELPORT (MAA/DSF)
Xavier GAUQUELIN (ONF)
Christophe ORAZIO (IEFC)
Céline PERRIER (CNPF-IDF)
Olivier PICARD (CNPF)
Philippe RIOU-NIVERT (CNPF-IDF)
Bertrand WIMMERS (ONF)

L'équipe de coordination adresse ses chaleureux remerciements à toutes les personnes qui ont été mobilisées pour la conception de cet ouvrage (participants aux enquêtes, aux tournées, à la rédaction, à la relecture...), et notamment :

Catherine BASTIEN (INRAE), Raphaël BEC (CRPF Occitanie), Thierry BELOUARD (MAA/DSF), Bernard BOUTTE (MAA/DSF), Stéphane BRAULT (ONF), Hugues CLAESSENS (Gembloux Agro-Bio Tech), Cécile COLI (ONF), Odile COLNARD (MAA), Jean-Baptiste DAUBREE (MAA/DSF), Gilles DEBOISSE (ONF), Cédric FICHT (ONF), Damien FRANCOIS (Groupe Coopération Forestière), Milène GENTILS (MAA), Christian GINISTY (INRAE), Claire GODEL (IGN), Morgane GOUDET (MAA/DSF), Philippe GOURMAIN (Experts Forestiers de France), Alexis HACHETTE (ONF), Jean-Emmanuel HERMES (France Bois Forêt), Claude HUSSON (MAA/DSF), Olivier HUART (Département de la nature et des forêts, Région Wallonie), Edouard JACOMET (ONF), Anne JOLLY (ONF), Emmanuel KERSAUDY (MAA/DSF), Jean LADIER (ONF), Guy LANDMANN (GIP ECOFOR), Michel LEBLANC (ONF), Patrick LÉCHINE (CRPF Bourgogne-Franche-Comté), François LEFEVRE (INRAE), Myriam LEGAY (AgroParisTech), François LIEUTIER (Université d'Orléans), Xavier MANDRET (ONF), Pascal MATHIEU (CRPF Occitanie), Odile MOUGEOT (ONF), Louis-Michel NAGELEISEN (MAA/DSF), Jean-Pierre ORTISSET (CRPF Occitanie), Éric PAILLASSA (CNPF-IDF), Sandrine PERRET (INRAE), Romaric PIERREL (MAA/DSF), Christine POMPOUGNAC (CNPF-IDF), Henry de REVEL (France Bois Forêt), Jérôme ROSA (CRPF d'Île-de-France et du Centre-Val de Loire), Marine ROUSSEL (ONF), Jacques ROUSSELIN (Experts Forestiers de France), François-Xavier SAINTONGE (MAA/DSF), Hubert SCHMUCK (ONF), Marion SENTIS (CNPF-IDF), Eric SEVRIN (CNPF-IDF), Edmundo de SOUSA (Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária), Dominique de VILLEBONNE (ONF), Frédéric VINCQ (ONF), Cyril VITU (CRPF Grand-Est).



GUIDE DE GESTION DES CRISES SANITAIRES EN FORÊT

2^e édition

Ouvrage collectif coordonné par :
Louise Brunier (CNPf), Frédéric Delport (MAA/DSF),
Xavier Gauquelin (ONF)

Depuis 2010, les crises sanitaires en forêt se sont multipliées au gré de conditions climatiques défavorables pour les forêts et de l'apparition de bioagresseurs nouveaux. De nouvelles crises sont apparues sur de nouvelles espèces, dans de nouvelles régions. Chacune d'elles est spécifique dans son ampleur, ses enjeux, sa dynamique et sa gestion. Elles ont en commun la désorganisation de la gestion forestière courante pendant plusieurs années. Cette nouvelle édition revient sur les phénomènes passés et décrit de nouvelles crises. Elle met à disposition des acteurs forestiers les bonnes pratiques à mettre en œuvre et les outils pour affronter collectivement les événements d'une crise sanitaire, sur les plans organisationnels et techniques.



12 €