

9,50 €

n° 259

Juillet-Août
2021

FORÊT

entreprise

La revue technique des forestiers

Le pin laricio, toujours d'actualité

Expérimentation –
Plantations
par points d'appui

Premier verger
à graines
de robinier

Changement
climatique – Adapter
la sylviculture


CNPFF
Institut pour le
Développement forestier

STAGES IDF 2021

Le service formation de l'Institut pour le développement forestier est engagé dans une démarche d'amélioration continue de qualité, répondant au nouveau référentiel Qualiopi.

Il est référencé sur Datadock, la plateforme des organismes financeurs de la formation continue.

Certaines dates provisoires pour 2021 sont susceptibles de modifications.

Nous vous accueillerons dans nos prochaines formations, dans le respect strict des règles sanitaires en vigueur.

Gestion - Sylviculture				
Réussir ses plantations forestières *	Module 1* – Bien préparer une plantation	A. Depaix, E. Ulrich, ONF J. Fiquepron, IDF	Nancy (54)	28 septembre - 1 octobre – 3,5 jours
	Module 2* – Bien choisir et planter des plants de qualité	S. Girard, IDF ; J. Conche, ONF ;	Sécherie de La Joux (39)	2 sessions : 26 - 28 octobre – 3 jrs
Pépinieriste reboiseur, Expert du DSF		Peyrat-le- Château (87)	23 - 25 novembre – 3 jrs	
« Guide pratique de l'équilibre Forêt-Gibier » : évaluation et mise en œuvre		P. Brossier, CRPF ; D. Pierrard, Ecole Belval ; C. Launay, Bois Landry	Champrond -en-Gâtine (28)	12 - 14 octobre – 2,5 jrs
Sylviculture de quelques feuillus à croissance rapide		A. Depaix, ONF, M. Baumeister, CRPF ; J. Becquey, IDF	Alsace	6 octobre – 8 octobre – 2 jrs

* Le parcours de formation « Réussir ses plantations forestières » est co-organisé par l'IDF & l'ONF. Chaque module peut être réalisé indépendamment, cependant il est fortement recommandé de suivre les 3 stages.

Diagnostic			
Tassement, ornières, compaction des sols forestiers : évaluer les risques, définir les mesures préventives	J. Fiquepron, IDF ; P. Ruch, FCBA	Charrey-sur- Saône (21)	3 - 4 novembre – 2 jrs

Droit et fiscalité			
Les projets carbone forestier en pratique	S. Martel, IDF O. Gleizes, IDF	Montpellier (34)	2 - 4 nov. - 2 jrs

Faune – Flore			
Les chiroptères et la gestion forestière	L. Tillon, ONF ; M. Lauer, CRPF	Rambouillet (78)	5 - 8 octobre – 3,5 jrs

Pour tous renseignements et inscriptions, contactez Christine Clément au **02 38 71 91 14**,
ou par courriel : idf-formation@cnpf.fr

Retrouvez toutes les informations sur le site www.foretpriveefrancaise.com rubrique Services et formation.

Centre national de la propriété forestière
Institut pour le développement forestier
47 rue de Chaillot, 75116 Paris
Tél. : 01 47 20 68 15
idf-librairie@cnpf.fr

Directeur de la publication
Antoine d'Amécourt

Directeur de la rédaction
Éric Sevrin

Comité de lecture
Mme Anne-Marie Bureau
M. François Didolot
M. Eugène Duisant
M. Thomas Formery
M. Bernard Héois
M. Martial Hommeau
M. Henri Lherm
M. Claude Mannevy
M. Geoffroy de Moncuit

Rédactrice
Nathalie Maréchal
Assistante rédaction
Marion Sentis

Conception graphique
Pierre-Emmanuel Robert -
NordSud Création

Responsable Édition-Diffusion
Christine Pompougnac

Diffusion - abonnements
François Kuczynski

Impression : **Imprimerie**
43 rue Ettore Bugatti
87280 Limoges
Tél. : 05 55 04 14 04

Tous droits de reproduction ou de traduction réservés
pour tous pays, sauf autorisation de l'éditeur.

Périodicité : 6 numéros par an
Abonnement 2021
France : 50 € - étranger : 63 €
édité par le CNPF-IDF

Commission paritaire des publications et
agences de presse : n° 1024 T 08072
ISSN : 0752-5974
Siret : 180 092 355 004 52

Les études présentées dans Forêt-entreprise ne
donnent que des indications générales. Nous atti-
rons l'attention du lecteur sur la nécessité d'un avis
ou d'une étude émanant d'une personne ou d'un
organisme compétent avant toute application à
son cas particulier. En aucun cas le CNPF-IDF ne
pourrait être tenu responsable des conséquences –
quelles qu'elles soient – résultant de l'utilisation des
méthodes ou matériels préconisés.

Cette publication peut être utilisée dans le cadre
de la formation permanente.

Dépôt légal: Juillet-Août 2021



Michel Chartier © CNPF



La Forêt souffre depuis quelques années. Les contrastes climatiques sont impressionnants d'une année sur l'autre : après trois années sèches et caniculaires, le printemps et le début de l'été 2021 ont connu des épisodes bien différents (gels, grêle, pluies diluviennes...). Le changement climatique est une réalité. Il est important de se mobiliser pour aider propriétaires et gestionnaires à prendre les meilleures décisions dans ce nouveau contexte. Les premiers signaux sont encourageants au sein de l'amont de la filière Forêt-Bois : de nombreux programmes sont menés conjointement pour adapter les forêts par petites touches.

Les travaux présentés dans ce dossier, menés par la recherche (INRA et IRSTEA à l'époque, désormais fusionnés au sein d'INRAE), le développement forestier (IDF et ONF) et les acteurs de terrain (CRPF et ONF), illustrent bien cette mobilisation pour répondre le plus rapidement possible aux forestiers.

À titre d'exemple, le pin laricio de Corse a été fortement touché par la maladie des bandes rouges à partir de 2010, amenant des doutes et des questions sur l'utilisation de cette essence pourtant fortement appréciée. Le pin laricio était vu comme une alternative à d'autres pins à la croissance plus faible mais aussi comme une essence avec un réel potentiel sur des sols difficiles pour les feuillus.

Quel avenir pour cette essence ? Les résultats obtenus en 6 ans sont concrets et peuvent être appliqués : amélioration génétique, diagnostic stationnel, sylvicultures dynamiques pour limiter les atteintes.

Le changement climatique rebat les cartes et nous questionne sur les objectifs à atteindre : nous devons peut-être nous faire à l'idée qu'il est préférable d'avoir une forêt en bonne santé mais avec une productivité un peu réduite, que la diversité des essences paraît également une solution de sagesse face à un avenir incertain.

Anne-Marie Bureau, présidente
de CRPF Auvergne-Rhône-Alpes
et présidente déléguée de l'IDF



Michel Charrier © CNPF

Marie-Laure Gadoel © CNPF

Vue aérienne par drone d'un peuplement de pin laricio et superbe futaie de pin laricio de Corse.



Patrick Castano © CNPF

Aiguilles de pin laricio impactées par la maladie des bandes rouges.

Numéro suivant N° 260
Le réseau ESPERENSE :
expérimentation de nouvelles
essences face au changement
climatique

ACTUS

> 4

Journées nationales des groupes de progrès forestier

Les 7 et 8 octobre 2021
dans le Limousin

Expérimentation forestière
sur le changement
climatique

Carbone forestier

Contact : julie.jupin@cnpf.fr

En savoir + : <https://www.cnpf.fr/n/les-groupes-de-progres-de-la-foret-privee/n:537>

GROUPE DE PROGRÈS

> 6

Les plantations en points d'appui :
un thème d'étude cher au CETEF
de la Somme

Noémi Havet, Antoine de Bonnault
et Philippe Bouchez

MATÉRIEL VÉGÉTAL

> 10

Premier verger à graines
de robinier faux-acacia en France

Dominique Merzeau et Patrick Pastuszka

POINT DE VUE

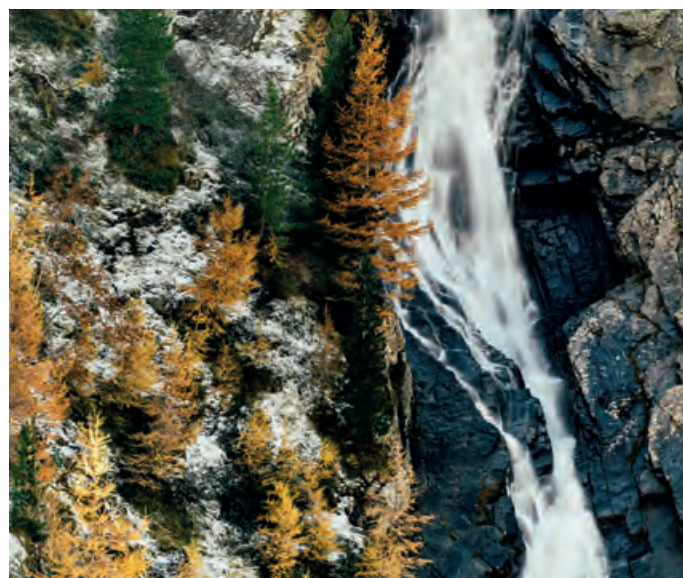
> 60

Larguer les amarres forestières et
penser comme des nomades, de
la conservation du passé
à la restauration du futur

Hervé Le Boulter

PHOTO À L'HONNEUR

> 66



Olivier Martineau © CNPF

Dossier :

Le pin laricio, toujours d'actualité : résultats du programme Dolar

Sandrine Perret et Michel Chartier

> 14 Le pin laricio, toujours d'actualité :
résultats du programme Dolar

Sandrine Perret et Michel Chartier

> 16 La maladie des bandes rouges :
ses agents pathogènes,
ses hôtes et son émergence
en France

Claude Husson, Gilbert Douzon, Jérôme Gaudry
et François-Xavier Saintonge

> 20 Dolar : un programme
pour mieux comprendre
la maladie et ses impacts

Michel Chartier et Sandrine Perret

> 26 Le climat et la station
influencent-ils le développement
de la maladie des bandes
rouges dans le grand quart
Nord-Ouest de la France ?

Dominique Balay, Ingrid Seynave, Jérôme Rosa
et Sandrine Perret

> 33 Les pins laricio sont-ils
tous égaux face à la maladie
des bandes rouges ?

Sandrine Perret, Bruno Fady, Christian Ginisty,
Guia Giovannelli, Stéphane Matz, Gwenaël
Philippe, Anne Roig et Caroline Scotti-Saintagne

> 42 Maladie des bandes rouges :
le pin laricio souffre
mais ne rompt pas !

Sandrine Perret, Jordan Bello, Michel Chartier,
Christian Ginisty, Céline Meredieu et Ingrid Seynave

> 50

Évolution de la maladie
des bandes rouges sur
pin laricio en France :
bilan de 6 années de suivi

Claude Husson, Morgane Goudet, Gilbert
Douzon, Jérôme Gaudry, Jérôme Rosa
et François-Xavier Saintonge

> 54

Renouvellement nécessaire
des vergers à graines de
pin laricio

Entretien avec Gilles Bauchery
Propos recueillis par Michel Chartier
et Nathalie Maréchal

> 56

Maintenant, comment gérer
le pin laricio ?

Jérôme Rosa

ARTICLES À LIRE EN LIGNE :

Des pins laricio de Calabre
des Barres au verger
à graines de l'État de Sivens

Sandrine Perret

La dendrochronologie pour
mieux analyser les effets
à long terme de la maladie
des bandes rouges sur
la croissance

Sandrine Perret, Nassim Belmokhtar,
Camille Couteau et Thomas Pérot

Marchés de chêne demandeurs ! Pensez à réaliser vos coupes

La médiatisation des exportations de chêne notamment vers la Chine a mis en exergue des enjeux cruciaux pour notre filière : maintenir des scieries locales nécessaires pour transformer nos grumes, les difficultés face aux fluctuations du prix du chêne, garder une rémunération juste du propriétaire et ne pas créer des barrières à l'export qui impacteraient toutes les essences.

Les professionnels de la gestion forestière tentent de concilier ces objectifs parfois divergents. Certains testent en forêt privée le label UE (voir encart à droite) visant à privilégier une première transformation sur le territoire européen. L'incidence sur les prix sera observée avec attention.

Le marché est demandeur, c'est donc le moment de réaliser les coupes de chênes prévues dans votre document de gestion forestière.

Si la coupe n'est pas prévue au PSG mais se justifie, n'hésitez pas à rédiger un avenant pour bénéficier de cette embellie des cours.

La vente de bois est un métier nécessitant des connaissances spécifiques : choix des arbres à récolter, estimation de leur valeur, respect de la réglementation, connaissance du marché et des acheteurs. Si vous pensez ne pas avoir ces compétences alors, pour valoriser au mieux vos arbres, confiez vos démarches à des professionnels (coopératives, experts ou gestionnaires forestiers professionnels).

Une coupe bien négociée s'inscrit dans un cercle vertueux. Elle valorise au mieux le travail de plusieurs générations de forestiers. Elle permet au propriétaire de reconstituer son peuplement. Plantation, régénération naturelle, transformation de peuplements pauvres sont autant d'actes qui préparent la forêt de demain : une forêt riche, diversifiée et répondant aux besoins de la filière.

Soyez acteur de votre gestion durable et ensemble, mobilisons la forêt pour l'avenir !

Label « Transformation UE »

Le marché mondial du chêne se porte mieux, principalement grâce à de nouvelles opportunités commerciales notamment à l'export. Cette situation induit une compétition entre grumes exportées et produits industriels transformés en France.

Les scieurs de chêne français ont mis en place dès 2015 le label « transformation UE », qui vise à favoriser le développement de la valeur ajoutée en France dans le respect des règles de la libre concurrence.

L'engagement principal d'un acheteur accrédité est de s'engager et de s'assurer sous son entière responsabilité que l'ensemble des bois de chêne qui constituent son approvisionnement subiront une 1^{re} transformation sur le territoire de l'UE.

Plus d'informations : Association pour la promotion des chênes et des feuillus français

<https://label-apecf-80.webself.net>

Premier reboisement labellisé Bas-Carbone en Savoie



Le 1^{er} reboisement labellisé Bas-Carbone par le ministère de la Transition écologique en Savoie est financé par ViiA (opérateur ferroviaire), sur les communes de Barby et Curienne dans les contreforts du massif des Bauges.

Un reboisement de cinq essences forestières sur des peuplements d'épicéas ravagés par des scolytes (insectes ravageurs) va contribuer à atténuer le changement climatique avec une captation prévisionnelle de **649 tonnes de dioxyde de carbone (CO₂) sur les trente prochaines années**. Les autres co-bénéfices générés sont aussi : recours à l'emploi local, préservation des sols (absence de nettoyage après exploitation, absence de préparation du sol, plantation à la pioche, lutte contre l'érosion de parcelles en pente), mélange d'essences...

ViiA, opérateur d'autoroutes ferroviaires du groupe SNCF, s'engage dans une stratégie de transport bas carbone avec sa démarche ViiA Zéro Émission Nette ; la démarche inclut des actions de réduction des émissions de carbone (audits d'efficacité énergétique, remplacement de l'éclairage par des installations en basse consommation, transition d'une partie du parc des véhicules de fonction et de service à l'électrique...), ainsi que des projets de préservation des écosystèmes fragilisés à l'international et en France aux alentours des plateformes multimodales.

Le CNPF, établissement public en charge du développement de la gestion durable des forêts privées, propose des projets carbone à des entreprises engagées dans des démarches de calcul et de réduction de leur empreinte carbone. Le CNPF permet à des propriétaires de concrétiser des projets forestiers, qui n'auraient pas vu le jour sans l'apport de ces financements innovants. En 2021, le CNPF est le numéro 1 de la contribution carbone volontaire en forêt française avec 100 % de projets labellisés qui sont financés.

Plus d'informations sur les projets carbone du CNPF :
<https://www.cnpf.fr/carbone>

Vous souhaitez participer à un projet carbone ?

Contactez-nous sur : carbone@cnpf.fr

Hubert de Sylvamap : un service de télétransmission de DGD



Rédiger et télétransmettre son document de gestion durable (Plan simple de gestion, Règlement type de gestion) entièrement en numérique est désormais possible grâce au nouveau service Hubert de Sylvamap. Une hotline avec les géomaticiens et cartographes de Sylvamap accompagne les rédacteurs dans les étapes techniques et administratives d'élaboration d'un DGD. Toutes les conformités des parties techniques (identification, description des peuplements, en lien avec la cartographie) et administratives (dont

la télétransmission) sont assurées avec les normes du CNPF. Les données personnelles sont également protégées, afin de garantir une télétransmission officielle et sécurisée. Des tutoriels facilitent l'appropriation par étape de l'outil de rédaction en ligne.

Créé depuis 2011, Sylvamap est une interface de gestion forestière en ligne, un savoir-faire mis au service des forestiers connectés : www.sylvamap.fr

Communiqué de presse Sylvamap, 14 juin 2021



Changer d'échelle pour réussir la transition énergétique

L'augmentation de 30 à 40 % de production de chaleur renouvelable à partir de biomasse est l'objectif de la France d'ici à 2028. Différents axes sont à développer pour y parvenir : les prélèvements potentiels, le renouvellement des équipements domestiques et la décarbonation de l'industrie. Les études de **disponibilités de ressource** assurent de la possibilité des prélèvements ajustés régionalement dans le respect de la gestion durable des forêts. Le **renouvellement des équipements domestiques** va être accéléré suite à l'entrée en vigueur de la réglementation européenne EcoDesign pour les poêles. Des progrès conséquents en rendement et émissions de particules ont été réalisés par les constructeurs entre 2005 et 2020. Les collectivités locales sont impliquées et motrices pour installer des solutions bois-énergie. La **décarbonation des industries** est aussi un axe majeur du Plan de relance européen, avec des aides pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. À noter, 1 m³ de bois utilisé pour la production de chaleur dans l'industrie et le secteur collectif en substitution d'énergies fossiles permet d'éviter environ 0,5 tCO₂. 1 000 tonnes de bois-énergie génèrent un emploi.

Communiqué de presse Journée Bois-énergie –
Changer d'échelle pour réussir la transition
énergétique - 31 mai 2021

1jeune1solution.gouv.fr

Pour aider les jeunes arrivant sur le marché du travail, le plan «1 jeune 1 solution» propose des solutions pour faciliter l'insertion professionnelle des jeunes et mobiliser les entreprises dans le cadre de France Relance. En 2020, environ 520 000 jeunes ont trouvé un contrat d'apprentissage dans le public et le privé.

Une **plateforme «1 jeune 1 solution»** facilite l'insertion professionnelle des jeunes en mobilisant les entreprises. Depuis sa mise en ligne, 1jeune1solution.gouv.fr a déjà permis à 1,5 millions de jeunes de moins de 29 ans d'être embauchés en CDI, en CDD de plus de 3 mois mais également en apprentissage. La plateforme rassemble les offres d'apprentissage ou de jeunes en recherche, ainsi que les aides favorisant ces recrutements.

Communiqué de presse ministère du Travail,
de l'Emploi et de l'Insertion – 28 mai 2021



PROTEHYL : protéger les plantations de douglas contre l'hylobe par des propriétés naturelles du bouleau

Porté par l'ONF en partenariat étroit avec INRAE, le FCBA, le DSF, GCF, le CNPF et la Société forestière de la CDC, le projet PROTEHYL vise à concevoir une stratégie préventive de protection des plantations de douglas contre l'hylobe, un petit coléoptère dont les morsures réduisent la croissance des jeunes plants et peuvent entraîner la mort de peuplements entiers. Des chercheurs ont démontré que le bouleau, essence pionnière et d'accompagnement, émet naturellement une molécule (le méthyle-salicylate) aux propriétés répulsives pour l'hylobe. Différentes modalités de mise en œuvre de cette barrière chimique seront ainsi testées au cours de ce projet : des essais de plantations en mélange bien sûr (douglas-bouleau), également d'autres approches expérimentales basées sur l'apport de broyat de bouleau ou encore sur l'installation de diffuseurs de méthyle-salicylate directement dans les plantations de douglas. Ce dispositif sera déployé en France au sein de cinq territoires pour une durée de deux ans, période de sensibilité des plants au ravageur.

Lauréat de l'appel à projet de recherche **ECOPHYTO II+**, labellisé par Xylofutur le 26 février 2021 – **PROJET PROTEHYL** : <https://www.onf.fr/onf/+995::protehyl-vers-une-solution-ecologique-de-lutte-contre-lhylobe.html>



Le chêne vert : nouvelles approches de gestion en contexte méditerranéen

Guide Innov'ilex est le nouveau guide qui présente :

- ➔ les principaux enseignements du projet Innov'ilex (typologie des stations, dendrochronologie, risques climatiques et gestion),
- ➔ la synthèse des enjeux autour de la gestion des peuplements de chêne vert,
- ➔ des recommandations sylvicoles pour analyser les réponses des traitements aux différents enjeux,
- ➔ des fiches descriptives d'itinéraires techniques possibles pour les peuplements méditerranéens.

Le projet Innov'ilex a rassemblé 6 partenaires sur une durée de près de 4 ans : le CNPF (coordinateur), le CEFECNRS, l'IGN, l'IMBE, Forêt méditerranéenne et l'ONF (DT Corse), et par le Fonds stratégique forêt-bois du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

Plus d'infos sur le site du CRPF Occitanie, où le guide est téléchargeable en PDF : <https://occitanie.cnpf.fr/n/innov-ilex/n-3712>



Les plantations en points d'appui : un thème d'étude cher au CETEF de la Somme

 12 min

Par Noémi Havet, CNPF-CRPF Hauts-de-France, Antoine de Bonnault et Philippe Bouchez, CETEF de la Somme

La plantation par points d'appui est une méthode expérimentée et valorisée par le CETEF de la Somme. Leurs travaux sur la pertinence de ces plantations sont précisés par les acquis d'expérimentations menées chez le président et vice-président du Cetef.

La plantation dite par point d'appui est une plantation, non pas en plein, mais plutôt en petits groupes éloignés les uns des autres de 10 à 20 mètres, où les plants sont installés densément de 5 à 25 plants (voire 49 en 7x7) sur des placeaux. La surface des points d'appui peut varier entre 4 et 50 m², pour qu'au sein de chacun puisse être sélectionné un seul arbre objectif de grande qualité.

Une technique déjà expérimentée

Cette technique, mise en œuvre par plusieurs membres du CETEF 80, n'est pas récente ; elle a été utilisée en France dans les années 70 par l'ONF pour le hêtre en Picardie et pour le chêne en Bourgogne. Elle est abondamment pratiquée en forêt privée par des membres de Prosilva France, dont Evrard de Turckheim, son président, en forêt du Nouvion-en-Thiérache dans l'Aisne ; mais également en Auvergne grâce au CRPF présenté dans un numéro précédent¹, dans le Grand Est et en Savoie (Moyses F., 2011 et 2019).

Plus récemment, sous l'appellation « collectifs », l'Unité territoriale Littoral Flandre Artois (UTLFA) de l'ONF s'en sert pour enrichir des frênaies sinistrées par la chalarose dans les forêts domaniales du Pas-de-Calais. L'ONF Picardie la considère comme une « piste d'amélioration/réduction du risque » à étudier pour la forêt domaniale de Compiègne. Elle est cependant d'origine allemande, puisqu'elle a été décrite au début du XX^e siècle sous l'appellation *Nesterpflanzung* signifiant « plantation par nids »,



Plantation de chêne en points d'appui sur boisement de terre agricole. Bouchez Philippe © CETEF80



¹ Nebout J.-P., 2009. La plantation par points d'appui : une solution pour reconstituer ou enrichir les chênaies déperissantes. *Forêt-entreprise* n° 184, p. 58-62.

² Stratégie QD. Une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels, disponible sur : <https://www.foretpriveefrancaise.com/publications/voir/633/strategie-qd/n:541>

Les installations chez Antoine de Bonnault, président du CETEF de la Somme

« Dans ma réflexion sur les plantations, j'ai depuis longtemps été sensible au paradoxe de tous ces plants installés puis entretenus, pour finalement n'en garder qu'1/10^e ou moins, et sans maîtriser la disposition spatiale des jeunes arbres sélectionnés. J'ai d'abord expérimenté des plantations à large espacement ; bien évidemment cela n'est applicable qu'à certaines essences permettant de disposer individuellement d'une bonne qualité génétique comme les châtaigniers, noyers hybrides... et le travail de taille est important (mais sur un nombre d'arbres restreint). »



Points d'appui de chêne avec deux modalités de protections individuelles différentes, manchons ou 3 bambous.
Noémi Havet © CNPF

Pour les feuillus sociaux (hêtre, chêne), avec l'optique de la production de gros voire très gros bois, il est nécessaire d'avoir une densité minimum de plantation pour que l'on puisse faire une sélection et profiter du fait que les plants s'éduquent entre eux (automation biologique), mais on imagine que les gros/très gros bois du peuplement final seront distants de 10 à 20 m.

« Dans un premier temps, j'ai installé des lignes de chênes espacées de 8 à 10 m, et sur les lignes au lieu de disposer les plants tous les 2,5 m, je les ai regroupés par 3, espacés de 1 m tous les 7,5 m. Dans l'interligne, j'ai laissé se développer un recru favorable, majoritairement de sycomore. L'ensemble de la parcelle s'est bien installée ; mais avec 5-6 années de recul, le groupe de 3 paraissait insuffisant pour couvrir les aléas de survie ou de conformation des plants. J'ai donc adapté le même dispositif avec des groupes de 5 (3+2) en lieu et place des îlots de 3.

Puis en 2018, nous avons eu au CETEF une présentation sur la méthode QD², qui consiste à planter des îlots très denses (25 jeunes arbres distants entre eux de 1 m ou utiliser des taches de semis) en nombre correspondant au peuplement final de gros bois visé, avec une sylviculture adaptée.

J'ai mieux réalisé l'importance du groupe de plants denses pour assurer leur éducation et auto-élagage. J'ai donc fait évoluer mon dispositif en expérimentant des îlots de 8 ou 13 chênes, ou 5 chênes entourés de 8 charmes. Les îlots sont espacés de 10 à 15 m et les plants de 70 cm dans les îlots. Concernant les enseignements à retirer, tout cela reste encore expérimental et il faudra beaucoup plus de recul pour tirer des conclusions définitives. Néanmoins les avantages

constatés ou espérés suivants peuvent être énoncés :

- le large espacement entre les îlots laisse **la place à une diversité du peuplement** et permet éventuellement d'imaginer une production intermédiaire (ex : sycomore naturel entre les îlots de chêne) ;
- le regroupement de nombreux plants dans l'îlot permet de fixer à peu près la répartition spatiale des futurs gros bois sélectionnés et rend **plus facile les travaux de plantation et d'entretien** (ex : un seul potet travaillé pour l'îlot, dégagement de ronces plus efficace) et permet de repérer les plants plus facilement que quand ils sont individuels ;
- la constitution de petits îlots denses permet d'espérer plus rapidement la prise du dessus de la végétation par les plants et **l'automation biologique de l'élagage** afin d'éviter le plus possible l'élagage artificiel, et ce de manière bien plus accentuée que dans une plantation classique même à forte densité.

Pour l'instant, les plantations de points d'appui à large espacement avec le recru en interligne se sont bien établies, il faut être très vigilant sur le contrôle du recru (gyrobroyage, passage manuel avec cassage de tiges concurrentes à hauteur d'homme), mais la réduction du nombre de lignes diminue le temps passé à l'hectare et le groupage en îlot favorise effectivement l'efficacité de l'entretien. »

Il faudra attendre encore quelques années pour constater l'éducation mutuelle des plants dans les îlots, avec par voie de conséquence la réduction des entretiens. On peut penser que les groupes de 3 ou 5 ne sont pas assez denses et nécessiteront beaucoup de taille. Et encore plus longtemps pour constater le résultat sur la qualité des billes produites...



¹ Nebout J.-P., 2009. La plantation par points d'appui : une solution pour reconstituer ou enrichir les chênaies dépérissantes. *Forêt-entreprise* n° 184, p. 58-62.

² Wilhem G. J. et Rieger H., 2017. *Stratégie QD. Une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels*. Co-édition CNPF-IDF & Forêt.Nature, 192 p.

³ Moyses F., 2011. La plantation par nids : une technique de régénération artificielle conduite comme une régénération naturelle par trouée. *La Forêt Privée*, n° 321, septembre-octobre 2011.

⁴ Arrêté fixant la liste des espèces et des matériels forestiers de reproduction éligibles aux aides de l'État sous forme de subventions ou d'aides fiscales pour le boisement, le reboisement et pour les dispositifs de boisements compensateurs après défrichement du Préfet de la région Hauts-de-France en date du 24 octobre 2018.

⁵ Moyses F., 2019. Retour d'expériences et actualisation de la pratique des plantations par collectifs. *La Forêt Privée*, n° 370, décembre 2019.

puis a été mise en œuvre en Pologne, Basse Saxe, Irlande, Belgique et Suisse³ (Moyes F., 2011 et 2019).

Pour concevoir un projet de plantation en points d'appui, outre le choix de l'essence, il faut déterminer préalablement trois paramètres :

▀ **l'espacement entre points d'appui** : il dépend directement du diamètre que l'on recherche pour l'arbre objectif lors de son exploitation. Le rapport D/d existant entre D le diamètre du houppier d'un arbre objectif « nominal » et d le diamètre à hauteur d'homme est de l'ordre de 20. Si l'on souhaite produire des très gros bois de 100 cm de diamètre, ils devront donc être idéalement espacés d'au moins 20 m. En effet, cela est nécessaire pour pouvoir bénéficier pendant la phase de dimensionnement d'une croissance quasi libre par la conduite des éclaircies à leur profit une fois la bille de pied acquise en phase de qualification, dont la hauteur préconisée est de 25 % de la hauteur totale, qui sera atteinte par l'arbre adulte.

▀ **l'espacement des plants dans le point d'appui** : les données historiques, l'expérience acquise au sein de l'Association Pro-silva France et les préconisations de la stratégie QD (qualification dimensionnement)² dans laquelle le terme d'îlot est synonyme de point d'appui convergent vers un écartement des plants dans le point d'appui qui ne doit pas dépasser 1 m pour bénéficier au mieux de l'automation biologique pour le chêne ou le hêtre. Selon la stratégie de croissance et de développement de l'essence, les valeurs seront couramment comprises dans la fourchette qui va de 0,7 m à 2 m⁵.

Le nombre de plants dans le point d'appui : la limite est au premier chef financière, surtout dans un contexte où chaque plant doit être protégé individuellement du gibier. D'après les recherches menées au sein du groupe de travail, des points d'appui en carrés de 49 (7x7) ont été plantés par l'ONF ou en stratégie QD ; des carrés de 25 (5x5) en stratégie QD, en plantation par nids (autre synonyme)³, et par un membre du CETEF 62 ; des carrés de 16 (4x4) issus de travaux similaires en Auvergne¹ ; des carrés de 9 (3x3) par UTFLA ; mais aussi des points d'appui de 7 par Evrard de Turckheim. Les membres du CETEF 80 ont essayé des motifs variés en testant la limite basse du nombre de plants par îlot.

Compléments économiques apportés par Philippe Bouchez

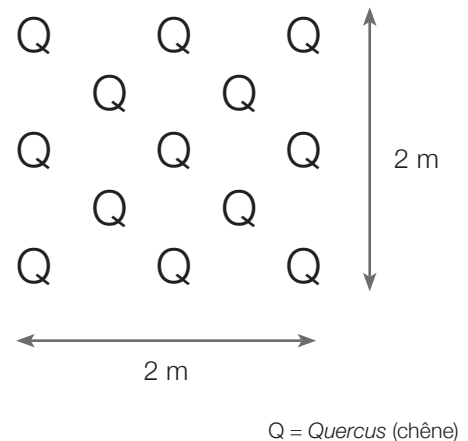
Le sous-thème de la plantation en points d'appui est traité par le CETEF 80 dans le cadre du thème efficacité des plantations. Il est donc intéressant pour conclure de chiffrer le coût estimé à l'hectare d'une plantation en points d'appui.

Dans l'analyse, l'exemple pris est une plantation après coupe rase en maille large 20 m par 20 m et en quinconce de points d'appui composés de 13 chênes (schéma 1).

Le coût total individuel d'un tel point d'appui peut être estimé à environ 65 € HT se décomposant en :

- ▀ 5,8 € travail préalable mini-pelle équipée sous-soleur multi fonction dent Becker (SSMFDB) pour la réalisation d'un plateau travaillé de 3 m par 3 m ;
- ▀ 16,51 € pour 13 plants à 1,27 € ;
- ▀ 7,02 € pour 13 protections à 0,54 € ;
- ▀ 7,02 € pour 13 piquets à 0,54 € ;
- ▀ 13,52 € pour 13 plantations en terrain travaillé à 1,04 € ;
- ▀ 15,08 € pour 13 mises en place de protection à 1,16 €.

Schéma 1 – Plantation par points d'appui en carrés de 2 m de côté



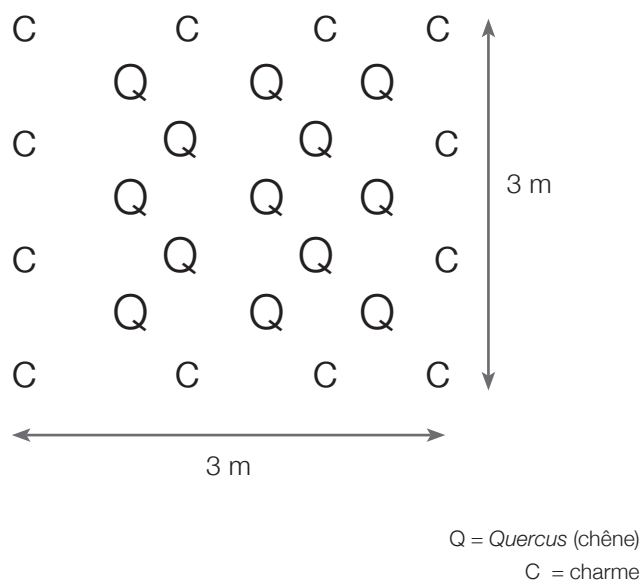
Pour 25 points d'appui à l'hectare (total de 325 plants), le coût total sera de 1 625 €, soit environ trois fois moins élevé qu'une plantation en plein à densité minimale de 800 plants par hectare estimé à 4 800 € avec un coût individuel pour un chêne protégé individuellement de 4,55 € sans compter le travail du sol de 1,45 € pour un potet individuel travaillé au SSMFDB. Pour bénéficier des aides de l'État dans le cadre des plantations d'enrichissement par placeaux de feuillus sociaux (hêtre, chêne et châtaignier),

il est demandé de respecter des densités minimales de l'ordre de 1 200 plants par hectare pour des placeaux de 2,5 ares. La demande est respectée car si l'on reprend l'exemple des 25 points d'appui de 13 chênes implantés sur des placeaux de 3 m par 3 m, la densité locale de chênes dans le point d'appui atteint 14 444 plants à l'hectare $[(10\ 000/9) \times 13]$.

La densité minimale d'essences objectifs vivant à l'hectare à 5 ans demandée est de 900 tiges/ha (avec comptabilisation possible des tiges issues du recru naturel d'une ou 2 essences objectif). Compte tenu des 375 chênes plantés en points d'appui, c'est 525 tiges qu'il convient de sélectionner dans le recru. Si l'on s'inspire de la sylviculture allemande QD pour minimiser les travaux d'entretien, ces tiges, si possible groupées en îlots de régénération naturelle, seront idéalement sélectionnées à proximité des points non occupés de la maille 10 m par 10 m. En acceptant un coût d'investissement supplémentaire estimé à 25 € HT qui fera passer de 65 à 90 € HT le coût du point d'appui, il est possible d'entourer les 13 chênes (Q) du point d'appui, essence de lumière, par 12 charmes (c) plantés non protégés du gibier en cordon d'ombrage qui devraient améliorer l'automatisme biologique au sein du point d'appui. Cette variante qui est en cours de test au sein du CETEF 80, est directement inspirée des concepts développés par G. J. Wilhem et H. Rieger (2017) et par F. Moyses (2011 et 2019).

La technique de plantations en points d'appui peut aussi être utilisée en boisement de terre agricole pour l'essence objectif principale. Il est nécessaire alors de prévoir la plantation en complément d'une ou plusieurs essences de bourrage à la densité adaptée. Si l'espa-

Schéma 2 – Plantation de 25 points d'appui par hectare en placeaux de 3 m par 3 m, exemple avec 13 chênes et 12 charmes



cement retenu entre les points d'appui le permet, le dispositif pourra également prévoir la plantation d'une essence objectif secondaire prévue pour une récolte intermédiaire constitutive d'une éclaircie des arbres objectifs de l'essence principale. Ceci est en cours de finalisation au sein du CETEF 80 avec un essai, où sont implantés les points d'appui de chênes en essence objectif principale sur une maille 20 m par 20 m. Ils seront accompagnés de noyers hybrides en essence objectif secondaire et récolte intermédiaire sur les points de la maille 10 m par 10 m non occupés par les points d'appui de chêne, le dispositif étant complété par la plantation de charmes en bourrage sur les points non occupés de la maille 5 m par 5 m. ■

Résumé

Le CETEF de la Somme expérimente depuis plusieurs années la technique de plantation en points d'appui dans sa thématique de plantations efficaces. Les premiers retours sont encourageants, tant sur le plan économique que sur le plan sylvicole avec des coûts moindres à l'installation et des plants gagnés. Le chêne est une essence propice à ce système et sert de référence dans les échanges entre propriétaires et dispositifs à tester.

Mots-clés : plantation par points d'appui, expérimentation, Cetef de la Somme

Premier verger à graines de robinier faux-acacia en France



Par Dominique Merzeau, CNPF-IDF, Patrick Pastuszka, INRAE*

Pour améliorer la forme et la croissance du robinier et favoriser l'utilisation de ressources génétiques locales, un travail fructueux de sélection de 300 robiniers les plus remarquables dans les plus beaux peuplements a été réalisé. La collaboration entre le CNPF et INRAE aboutit à la création du premier verger à graines de robinier en France installé dans le Lot.

* Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

Le robinier faux-acacia est une essence de grand intérêt partout dans le monde, en raison de sa vitesse de croissance combinée à un bois de grande qualité. Il est un substitut naturel aux bois exotiques et aux bois traités. Ses usages sont très variés, depuis les boisements à vocation énergétique, aux piquets et au bois d'œuvre (parquets ou aménagements extérieurs), sans oublier la production d'un miel très apprécié des apiculteurs et des consommateurs.

Or en France, malgré son introduction ancienne (1601), il ne représente qu'1,3 % de la surface forestière avec 203 000 ha (plus ou moins 23 000 ha) pour un volume sur pied de 30 millions de m³ (+/- 4) (source : données site IGN 2019). Il est présent sur à peu près tout le territoire, sauf en altitude. 97 % des peuplements sont situés en forêt privée.

Il est donc justifié de créer de nouveaux peuplements pour accroître la ressource utilisable.

Malgré l'existence de peuplements de grande qualité dans les différentes régions françaises, le matériel végétal disponible aujourd'hui chez les marchands grainiers pour la création de nouveaux boisements provient essentiellement de peuplements classés en Europe de l'Est. Depuis 2003, la France a admis le robinier au titre des matériels forestiers de reproduction (MFR) réglementés. Une seule région de pro-

venance existe en France, au sein de laquelle il n'existe hélas aucun peuplement sélectionné : les méthodes de récolte de graines d'Europe de l'Est ne sont pas transposables en France pour des raisons économiques.

Les marchands grainiers français commercialisent annuellement entre 500 et 700 kg de ces graines importées, soit pour du semis direct, soit pour la production de plants en pépinière. Avec plus de 600 000 plants commercialisés par an, le robinier se place au 3^e rang des essences feuillues après le chêne sessile et le peuplier (enquête 2018-2019).

Une sélection française de robiniers remarquables

Il est donc important dans le contexte actuel, d'initier une action au niveau national pour conduire à une meilleure valorisation des ressources génétiques locales, et envisager la mise en place d'une stratégie de création variétale. La sélection de robiniers remarquables, initiée en 1995 par le CPFA¹ en Aquitaine a été étendue par le CNPF sur la France entière entre 2011 et 2013².

Grâce au relai des CRPF, **160 peuplements** de robiniers ont été retenus dans des contextes pédologiques, climatiques et sylvicoles variés : à l'intérieur de ces peuplements, plus de **300 robiniers** remarquables ont été sélectionnés sur des critères de vigueur et de forme (rectitude notamment).

¹ Centre de productivité et d'action forestière d'Aquitaine

² Barbier C., Merzeau D., Pastuszka P., Charpentier J.P., 2016. Une première collection nationale de robiniers. *Forêt-entreprise* n°226, p. 10-19.



Parc à pied mères de Pierroton : les copies végétatives des arbres (+) sont taillées annuellement pour la production de boutures.

Patrick Pastuszka © INRAE

Des récoltes de racines ont permis ensuite de mobiliser ces arbres remarquables et l'élevage des boutures racinaires (voir encart) a été réalisé par l'Unité Expérimentale Forêt de l'INRAE Pierroton. Les premiers plants obtenus ont servi à installer un parc à pied mère, qui permettra ensuite la production annuelle d'un nombre limité de plants par multiplication végétative à partir de boutures racinaires ou herbacées. Ces plants permettent à la fois l'installation d'un conservatoire de ces ressources génétiques, situé à Bouglon dans le Lot-et-Garonne et l'installation régulière de tests clonaux implantés dans diverses régions.

Enfin depuis décembre 2020, ce matériel de base est utilisé pour la création du premier verger à graines de robinier en France.

La multiplication végétative

La multiplication végétative est une technique de reproduction naturelle qui permet à une plante de se reproduire sans l'intervention de la pollinisation. Ce mode de reproduction asexuée produit de nouvelles plantes exactement identiques à la plante mère, à partir de fragments végétaux (tiges, feuilles, racines, bourgeons...) ou d'organes spécialisés (bulbilles, stolons).

Ces divers processus de multiplication végétative sont souvent et ont depuis longtemps été utilisés par l'homme (greffage, bouturage, marcottage) pour obtenir plusieurs individus identiques à partir d'un seul, le pied mère. Chacun des individus obtenus est un **ramet**, la plante fournissant les boutures étant appelée **ortet**.



Au centre : robinier (+) sélectionné pour sa rectitude et l'absence de fourches et de défauts du tronc.

Dominique Merzeau © CNPF

Une première expérience française, fruit d'une large coopération

Cet important travail de sélection mené par le CNPF, et de production de plants de robinier assuré par INRAE avec l'étroite collaboration du PNRGF³ de l'ONF (Pôle de Peyrat) est donc aujourd'hui valorisé dans le cadre de l'installation d'un verger à graines de clones. Ce verger est intégré au programme vergers à graines de l'État (pilote par son Comité technique de coordination) dans le département du Lot (46).

Le schéma d'installation du verger a été discuté par l'ensemble des acteurs concernés : co-obtenteurs (INRAE et CNPF), marchands grainiers (rassemblés dans le GIE Semences forestières améliorées), gestionnaires des vergers de l'État... La décision a été prise d'installer le verger en une seule tranche plantée à large densité avec une large base génétique. Il n'y aura pas d'éclaircie et

³ Parc naturel régional du Gâtinais français

la faible densité de plantation doit permettre un large étalement des houppiers pour maximiser la production de graines. Les récoltes de graines se feront sur un film étalé de manière permanente. Un deuxième verger sera installé dans une dizaine d'années avec une sélection plus forte basée sur les résultats des tests clonaux.

Le premier verger est installé sur le site de Haute-Serre sur une surface de 4 ha, à l'emplacement d'un ancien verger de pins laricio de Corse. Un test préliminaire planté en avril 2017 a donné des résultats encourageants : pas de mortalité, bonne croissance et première production de graines sur certains individus dès la 3^e année. La densité de plantation est de 8 x 8 m, soit 156 individus/ha à raison de 2 à 3 ramets par clone. Les plants sont issus de 2 campagnes de bouturage du parc à pied mère :

- ▀ bouturage herbacé en 2019 et élevage au PNRGF de Peyrat-le-Château,
- ▀ bouturage racinaire en 2020 et élevage à la pépinière INRAE de Pierroton.



Copie d'un robinier (+) plantée dans le verger du Lot en décembre 2020.

Dominique Merzeau © CNPF

Sur les 330 clones disponibles en collection, seuls 192 génotypes représentés par 2 ou 3 copies (ramets) seront présents pour plusieurs raisons :

- ▀ l'échec du bouturage de certains individus lors des 2 campagnes,
- ▀ l'élimination de doublons génétiques révélés grâce au génotypage réalisé sur l'ensemble des arbres sélectionnés : en effet, en raison du mode de multiplication végétative des peuplements de robinier, plusieurs individus sélectionnés dans un même peuplement se sont révélés être les copies d'un même ancêtre,
- ▀ l'élimination de quelques clones, dont tous les ramets présentent une très mauvaise forme à 5 ans dans le conservatoire de Bouglon.

Même si tous les clones sélectionnés par le CNPF ne sont pas présents, le verger aura toutefois une bonne diversité géographique et qualitative : toutes les régions sont représentées et la distribution des notes de qualité des arbres (+) est comparable dans le verger à celle de la collection complète.

Pour ce 1^{er} verger, le critère de fructification, très important pour les marchands grainiers, n'a pas été retenu en raison du caractère aléatoire d'une sélection juvénile sur ce critère : en effet, les observations réalisées à 4 ou 5 ans (conservatoire et tests clonaux) ne permettent pas de statuer de façon fiable sur ce caractère d'importance pour le GIE. En revanche, il sera pris en compte pour la sélection des composants d'un 2^e verger devant être installé dans une dizaine d'années.

Par ailleurs, un important travail est entrepris avec l'ADANA (Association des apiculteurs en Nouvelle-Aquitaine) pour caractériser aussi le potentiel mellifère des clones sélectionnés. En effet, la pollinisation étant assurée par les abeilles, il est important d'avoir des clones attractifs pour celles-ci avec la production d'un nectar abondant et concentré en sucre. Les résultats d'une pré-étude sont très encourageants, les premiers clones analysés montrant une excellente capacité nectarifère.

Ce verger de robinier est une première expérience en France, et sa gestion est encore expérimentale : méthodes d'entretien, installation de ruches, date d'entrée en production et capacité de production, méthodes de récoltes, sont autant de points à définir et évaluer au cours du temps. Mais les retours d'expérience de cette première installation permettront d'acquérir de nouvelles connaissances pour les futurs vergers. ■

SEMENCES FORESTIÈRES

LE CHOIX DE LA DIVERSITÉ



VILMORIN-MIKADO SAS
Route du Manoir - 49250 LA MÉNITRÉ - FRANCE
T. +33 (0)2 41 79 41 66 - F. +33 (0)2 41 79 75 41

vilmorin-semences-arbres.com





Jérôme Rosa © CNPF



Le pin laricio, toujours d'actualité : résultats du programme Dolar

Par Michel Chartier, CNPF-IDF et Sandrine Perret, INRAE

Le pin laricio a été introduit dans de nombreuses régions de France depuis plus de 100 ans.

En effet, il est apprécié pour :

- ➔ sa production (potentiel de 20 m³/ha/an sur les bonnes stations),
- ➔ sa rusticité (supporte les climats chauds l'été avec des hivers froids)
- ➔ et sa grande plasticité (accepte les sols sableux et pauvres).

Les deux variétés Corse et Calabre n'ont pas tout à fait le même historique d'introduction. L'installation du pin laricio de Calabre est aujourd'hui sporadique même s'il a représenté jusqu'à 1/3 des plantations de laricio dans les

années 1970. Son aire naturelle se concentre sur le sud de l'Italie (région de Calabre) et en Sicile, et ses zones d'introduction sont concentrées en région Centre-Val de Loire et dans le sud de la France.

Le pin laricio de Corse, hors de son aire naturelle, a été introduit quant à lui principalement en Sologne et en Pays de la Loire. Ce dernier représente, aujourd'hui, plus de 84 % des plants vendus de pin laricio par les pépiniéristes (Enquête du MAA, 2018-2019).

De nos jours, le pin laricio représente environ 37 millions de m³ de bois sur pied et constitue pour 164 000 ha l'essence dominante (données IGN 2021).

Sommaire

- 16 La maladie des bandes rouges : ses agents pathogènes, ses hôtes et son émergence en France
- 20 Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts
- 26 Le climat et la station influencent-ils le développement de la maladie des bandes rouges dans le grand quart Nord-Ouest de la France ?
- 33 Les pins laricio sont-ils tous égaux face à la maladie des bandes rouges ?
- 42 Maladie des bandes rouges : le pin laricio souffre mais ne rompt pas !
- 50 Évolution de la maladie des bandes rouges sur pin laricio en France : bilan de 6 années de suivi
- 54 Renouvellement nécessaire des vergers à graines de pin laricio
- 56 Maintenant, comment gérer le pin laricio ?



Sandrine Perret,
INRAE

Assistante-ingénieure INRAE Val de Loire à l'Unité de Recherche de Nogent-sur-Vernisson. Responsable des réseaux d'expérimentation sur la croissance, co-animatrice du réseau pin laricio du GIS Coopérative des données, et coordinatrice du projet de recherche Dolar sur la maladie des bandes rouges du pin laricio.



Michel Chartier,
CNPFF-IDF

Chargé de mission Recherche & développement au CNPF-IDF et membre du réseau pin laricio du GIS Coopérative des données.



Peuplement remarquable de pin laricio de Corse Jérôme Rosa © CNPF

À gauche : Exemple d'un peuplement de pin laricio de Corse impacté par la maladie des bandes rouges

Signe du fort engouement qu'elle représentait, cette essence était, dans les années 2000, la première essence de reboisement en région Centre (Étude Pin durable, 2006).

Mais cette belle situation s'effondre à partir de 2010 avec des pics épidémiques de la maladie des bandes rouges, impactant fortement des peuplements jusqu'à alors sans problème.

Les gestionnaires constatent par la suite des déficits foliaires plus ou moins importants et des retards dans la production attendue. Pour certains, la question de la réalisation de coupes sanitaires se pose tandis que d'autres s'interrogent sur l'avenir de l'essence. La conséquence immédiate a été le ralentissement des plantations de pin laricio au profit d'autres essences.

Le Département de la santé des forêts a cherché rapidement à évaluer l'étendue et les conséquences de cette maladie. Parallèlement, face à ces constats et ces interrogations, les gestionnaires, le Département de la santé des forêts et les chercheurs ont souhaité mieux connaître les facteurs déterminants de cette maladie et

les possibilités d'en limiter les impacts. Le programme Dolar est ainsi né fin 2014.

Basé sur l'utilisation de réseaux existants ou anciens et sur des méthodes d'évaluation déjà éprouvées¹, trois axes de recherche devaient tenter de répondre aux questions posées par les gestionnaires :

- Quelles sont les conditions stationnelles favorables au développement de la maladie ?
- Existe-t-il des différences entre Corse et Calabre et peut-on trouver du matériel végétal plus résistant ?
- La sylviculture peut-elle permettre de limiter l'impact de la maladie ?

Même s'il existe une variabilité entre individus très forte, certaines recommandations peuvent être données tant sur l'installation de nouveaux peuplements (stations et matériel végétal à privilégier, mélanges d'essences) que sur la sylviculture à mener pour poursuivre la culture du pin laricio en favorisant sa résistance.

Le pin laricio n'est donc pas condamné ! ■

¹ Voir article Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts, p.20.

En savoir⁺

Perret S. *et al.*, 2019. Adaptation de la sylviculture du pin laricio en France dans le contexte de la maladie des bandes rouges : Quels sont les déterminants de la vulnérabilité du pin laricio à la maladie des bandes rouges ? Rapport final du projet Dolar. 144 p. <https://hal.inrae.fr/hal-03336070>

La maladie des bandes rouges : ses agents pathogènes, ses hôtes et son émergence en France



Par Claude Husson¹, Gilbert Douzon², Jérôme Gaudry², François-Xavier Saintonge¹

La maladie des bandes rouges affecte les pins dans le monde. Elle s'est probablement propagée d'un continent à l'autre via le transport de plants contaminés. Elle a émergé en France sur le pin laricio suite à des périodes climatiques favorables à son développement. Causée par deux champignons classés organismes nuisibles réglementés, leur prolifération est surveillée tant en pépinières qu'en forêt.

¹ Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation – DGAL – Département de la santé des forêts, F-75015 Paris

² Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation – DRAAF – Département de la santé des forêts, pôle Nord-Ouest, F-45042 Orléans

³ Fiche Ephytia, maladie des bandes rouges : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20367/Forets-Maladie-des-bandes-rouges>

⁴ Fiche Ephytia, maladie des taches brunes : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/24927/Forets-Maladie-des-taches-brunes>

Deux champignons pathogènes

La maladie des bandes rouges est causée par les champignons *Dothistroma septosporum* et *D. pini* présents partout dans le monde³. Bien que tous deux soient pathogènes du genre *Pinus*, non dissociables par leur morphologie et provoquant des symptômes similaires, ils présentent quelques caractéristiques spécifiques. *Dothistroma septosporum* impacte principalement les pins ; mais d'autres résineux peuvent être attaqués comme le cèdre, le douglas, l'épicéa, le mélèze et le sapin. Il est présent à la fois dans l'hémisphère nord et sud. C'est un champignon ascomycète dont la forme sexuée est appelée *Mycosphaerella pini*. Le cycle biologique du pathogène est strictement foliaire. De petites taches chlorotiques jaunes apparaissent en automne sur les aiguilles de l'année qui évoluent en annélation rougeâtre, d'où le nom vernaculaire de la maladie (Figure 1). Cette annélation nécrotique provoque souvent la mortalité de l'extrémité de l'aiguille qui prend une couleur brun-rouge. Le champignon développe ensuite des taches noires appelées "stromas", bien visibles en hiver - début du printemps, et qui deviennent proéminentes en mai (Figure 2). Deux types de fructifications se forment à la surface des aiguilles produisant des conidies (forme asexuée) et, plus rarement, des ascospores (forme sexuée) (Figure 3). Ces spores sont véhiculées par les éclaboussures de pluie et le vent, et infectent les aiguilles de l'année, du printemps à l'automne. La dispersion naturelle des spores infectieuses est essentiellement à courte distance. La maladie peut toutefois se propager à longue distance via le

transport de plants infectés. Un climat doux et humide au printemps et en été favorise la production et la dissémination des spores ainsi que l'infection de nouvelles aiguilles. Le stade ultime est la chute des aiguilles infectées l'année précédente. L'impact est toujours plus intense dans le bas du houppier où le confinement et l'humidité persistante favorisent la multiplication des infections. *Dothistroma pini* présente un cycle biologique, des symptômes et des exigences micro-climatiques similaires à *D. septosporum*, sauf que la production d'ascospores n'a jamais été observée chez cette espèce. Par ailleurs, il n'a été observé que dans l'hémisphère nord (Europe centrale et USA) et uniquement sur pin (EFSA, 2013).

Observations de la maladie

En France

Lorsque les bandes rouges sont peu visibles, la maladie peut aisément être confondue avec la maladie des taches brunes qui, elle, est causée par le champignon *Lecanosticta acicola*⁴. Cette espèce n'est signalée en France que sporadiquement dans le Sud-Ouest, mais elle est toutefois largement répandue dans l'hémisphère nord. Seul un test moléculaire en laboratoire par PCR spécifique permet de dissocier les trois espèces pathogènes (loos *et al.*, 2010). Sur le terrain, on veillera à observer la présence de taches jaunes et annélation de bandes rouges pour identifier clairement le genre *Dothistroma* sp. comme agent causal. Dans le cas contraire, le test moléculaire est indispensable.

Figure 1 – Formation de taches chlorotiques jaunes, de bandes rouges et de stromas liés à *Dothistroma* sp. sur *Pinus cembra* (A, D) et *P. mugo* (B, C)

(source : bulletin OEPP, 2015)

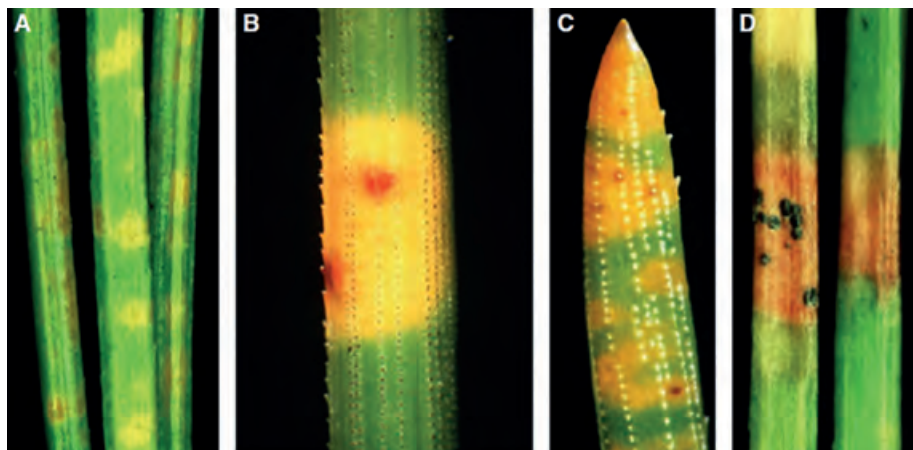


Figure 2 – Bandes rouges typiques de la maladie sur *Pinus nigra* avec dessèchement des extrémités d'aiguilles (A) et craquellement de l'épiderme formé (ou induit) par les fructifications (B)

(source : bulletin OEPP, 2015)

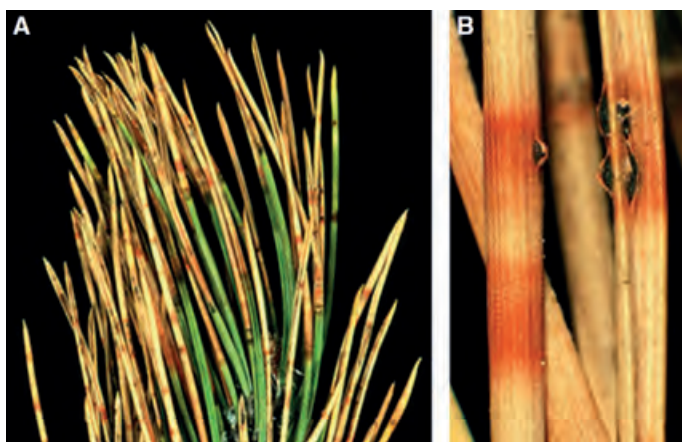
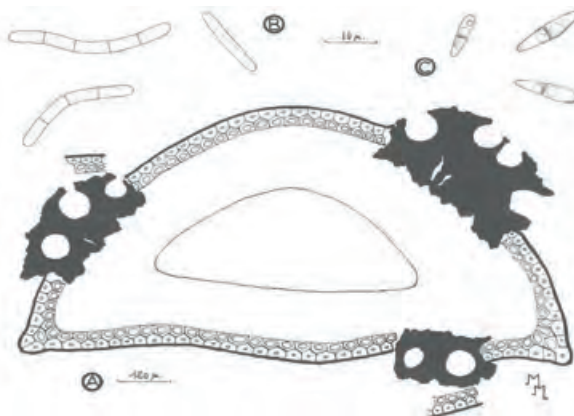


Figure 3 – Coupe transversale schématique d'une aiguille de pin avec formation de stromas et production de conidies (B) et d'ascospores (C)

(source : Morelet, 1967)



En France, la distribution de *D. septosporum* et *D. pini* est richement renseignée depuis 2007 (Figure 4). Les deux espèces sont bien implantées sur le territoire national, avec toutefois une quasi-absence de *D. pini* au nord de la Loire et dans les zones montagneuses (Figure 4). La fréquence de *D. pini* est en effet plus élevée dans les régions chaudes et elle devient prépondérante sur celle de *D. septosporum*, lorsque la température estivale moyenne est au-dessus de 18 °C, affichant ainsi un caractère thermophile (Fabre *et al.*, 2012). Depuis

2015, quelques mentions de *D. pini* ont été signalées dans le Grand Est, en Bourgogne-Franche-Comté et dans les Alpes qui pourraient s'expliquer par le climat chaud printanier de ces dernières années. Enfin, *D. septosporum* est détecté depuis 2015 en Corse sur pin laricio dans plusieurs secteurs géographiques. Nous n'avons cependant aujourd'hui aucun élément tangible pour conclure s'il s'agit d'une introduction dans l'aire d'origine du pin laricio ou si le pathogène y est indigène.

Figure 4 – Distribution de *Dothistroma septosporum* et *D. pini* en France et en Wallonie entre 2007 et 2020

(source : DSF-OWSF)



L'origine géographique de *D. septosporum* est eurasienne : différents sous-groupes de populations en Europe de l'Est, centrale et de l'Ouest en ont dérivé. Cette espèce aurait donc été introduite en Amérique du Nord, et plus récemment en Afrique, en Océanie et en Amérique du Sud (Mullett *et al.*, 2021). Dans tous les cas, le transport de plants infectés est la voie privilégiée de l'introduction du pathogène d'un continent à l'autre. Concernant *D. pini*, il n'est pas possible d'établir d'hypothèse sur son origine en raison du manque d'études de génétique des populations. Des analyses d'échantillons d'herbier révèlent toutefois que cette espèce est présente en France depuis au moins le début du XX^e siècle.

Dans le monde

La gamme d'hôtes de la maladie des bandes rouges est très large parmi les conifères et, encore tout récemment, de nouveaux hôtes ont été mentionnés, comme le cèdre du Liban en Turquie ou le cèdre de l'Atlas en France. Ce sont dans les plantations du genre *Pinus* que les dégâts sont les plus dommageables sur tous les continents, qui conduisent dans les situations les plus sévères à abandonner l'essence dans les programmes de reboisement. C'est notamment le cas de *Pinus radiata* en Afrique de l'Est, en Inde, en Nouvelle-Zélande et en Amérique du sud, de *Pinus contorta* au Canada (Colombie britannique) et de *Pinus nigra* subsp. *laricio* au Royaume-Uni. Cependant, la littérature fait mention de grandes disparités dans la sensibilité des pins, parfois même au sein d'une espèce. Par exemple, le pin sylvestre est cité généralement comme peu sensible par de nombreux auteurs et inversement très sensible dans des études menées

en Suède, en Norvège ou en Virginie aux USA (Drenkhan *et al.*, 2015). Plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer ces différences : la provenance des essences, une interaction entre l'environnement local et la vulnérabilité de l'espèce, une variabilité dans l'agressivité des souches de l'agent pathogène, l'âge des plantations observées, voire enfin un manque de calibration dans l'interprétation de la sensibilité par les évaluateurs.

Émergence sur le pin laricio de Corse en France

Il est toutefois admis que la sévérité de la maladie est significativement plus élevée dans les peuplements artificiels (plantations, milieux urbains ou arboretums) que dans les milieux naturels ou en régénération naturelle. En France, et quelle que soit la région, le pin laricio de Corse est largement l'espèce la plus affectée, au point que, après les pics épidémiques des années 2010, la question de la place de cette essence se soit posée pour les plantations à venir (Piou *et al.*, 2015, voir p. 33 de ce dossier). La surveillance menée par le Département de la santé des forêts relève par ailleurs quelques mentions de la maladie sur le pin maritime, le pin sylvestre, le pin noir d'Autriche et le pin d'Alep et rarement sur les autres espèces de pins.

La connaissance de la répartition des espèces de *Dothistroma* sp., des liens génétiques entre ses populations et des conditions stationnelles où sévit la maladie ont permis d'élaborer des hypothèses sur les mécanismes d'émergence de la maladie au cours du XX^e siècle dans le monde et à partir des années 1990 en France.

Elle résulterait d'une conjonction de différents facteurs. Comme pour beaucoup d'autres pathogènes, l'augmentation du commerce international et par voie de conséquence le transport de plants contaminés d'un continent à l'autre facilite l'introduction et l'établissement du pathogène, voire de nouvelles souches du pathogène, sur de nouveaux hôtes. On constate au niveau mondial que les épidémies et les dommages qui en résultent surviennent quelques dizaines d'années après les premières détections. Le pathogène s'établit donc progressivement après son introduction et ce n'est que quand la quantité de spores infectieuses produites est élevée que la maladie émerge réellement. La pression d'inoculum croissante est donc un des facteurs explicatifs. Par ailleurs, l'implantation massive d'espèces de pin dont la vulnérabilité n'était pas connue au moment de la plantation accélère l'émergence si ces dernières se révèlent finalement sensibles, comme dans le cas du pin laricio de Corse dans les régions Centre-Val de Loire ou Pays de la Loire. Enfin, il est possible que nous ayons vécu depuis la seconde partie du XX^e siècle une succession d'années avec un climat favorable à la production d'inoculum et à l'infection de l'hôte. Il n'est cependant pas évident de déterminer avec certitude l'influence positive ou négative du climat futur sur l'évolution de la maladie.

Champignons désormais classés nuisibles

En référence au nouveau règlement européen (UE) 2016/2031 entré en application en décembre 2019, *Dothistroma septosporum* et *D.*

pini (ainsi que *L. acicola*) sont désormais classifiés comme ORNQ, organisme réglementé non de quarantaine (UE 2019/2072). Les ORNQ sont des organismes nuisibles présents dans l'Union européenne dont la dissémination par l'intermédiaire de certains végétaux destinés à la plantation a une incidence économique estimée inacceptable au regard de l'usage prévu de ces végétaux. Conformément au risque de dissémination à longue distance cité ci-dessus, les deux espèces de *Dothistroma* sont donc soumises à une surveillance particulière en pépinières pour éviter leur dissémination par le commerce des plants à destination de plantations ornementales ou forestières.

Dans ce contexte général et pour conclure, il convient donc d'être particulièrement vigilant sur la maladie des bandes rouges dès qu'une essence de résineux, et tout particulièrement de *Pinus* sp., est implantée massivement dans une nouvelle aire géographique. Bien que cité dans la littérature comme modérément sensible, *Pinus taeda* mérite à ce titre une attention particulière. On voit bien là toute l'importance que l'on doit apporter à la surveillance des forêts et des nouvelles plantations de résineux notamment dans le contexte actuel d'adaptation et de renouvellement des forêts sous l'effet du changement global. Cela passe par une veille sanitaire pluriannuelle, menée en France par le Département de la santé des forêts, pour alerter le plus précocement possible de nouveaux problèmes biotiques et en évaluer leur importance. ■

Bibliographie

- Drenkhan R., Tomešová-Haataja V., Fraser S., Bradshaw R. E., Vahalík P., Mullett M. S., Martín-García J., [...] Barnes I., 2016. Global geographic distribution and host range of *Dothistroma* species: A comprehensive review. *Forest Pathology*, 46, p. 408-442.
- EFSA Panel on Plant Health, 2013. Scientific Opinion on the risk to plant health posed by *Dothistroma septosporum* (Dorog.) M. Morelet (*Mycosphaerella pini* E. Rostrup, syn. *Scirrhia pini*) and *Dothistroma pini* Hulbary to the EU territory with the identification and evaluation of risk reduction options. *EFSA Journal* 11, 173 p.
- Fabre B., loos R., Piou D., Marçais B., 2012. Is the emergence of *Dothistroma* needle Blight of pine in France caused by the cryptic species *Dothistroma pini*? *Phytopathology*, 102, p. 47-54.
- loos R., Fabre B., Saurat C., Fourrier C., Frey P., Marçais B., 2010. Development, comparison, and validation of real-time and conventional PCR tools for the detection of the fungal pathogens causing brown spot and red band needle blights of pine. *Phytopathology*, 100, p. 105-114.
- Mullett M.S., Drenkhan R., Adamson K., Boron P., Lenart-Boron, A., Barnes I., Tomsovsky M., Janosikova Z., Adamcikova K., Ondruskova E., et al., 2021. Worldwide Genetic Structure Elucidates the Eurasian Origin and Invasion Pathways of *Dothistroma septosporum*, Causal Agent of *Dothistroma* Needle Blight. *Journal of fungi*, 7, 111.
- Piou D., Saintonge F.-X., Marçais B., 2015. Quel avenir pour le pin laricio face à la maladie des bandes rouges ? *Forêt-entreprise*, 224, p. 10-17.

Résumé

La maladie des bandes rouges provoque un rougissement des aiguilles et un déficit foliaire à l'origine d'une altération de la santé des pins. Cette maladie émergente en France depuis les années 1990 est causée par deux champignons pathogènes du genre *Dothistroma*. Son impact est surtout dépendant des conditions climatiques et microclimatiques et de la sensibilité de l'hôte. Elle est l'une des maladies foliaires les plus dommageables des pins sur tous les continents.

Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts

 20 min

Par Michel Chartier, CNPF-IDF et Sandrine Perret, INRAE

Dès 2014, de nombreux partenaires de recherche et développement – DSF¹, CNPF², INRAE³, ONF⁴, IGN⁵ – se sont mobilisés pour répondre aux questions des gestionnaires et propriétaires face à cette maladie des pins laricio. S'appuyant sur les réseaux préexistants de données, l'étude a nécessité un investissement important en expertises, mesures et analyses.

¹ Département de la santé des forêts

² Centre national de la propriété forestière

³ Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

⁴ Office national des forêts

⁵ Institut national de l'information géographique et forestière

⁶ Gilbert J.-M., Chevalier R., Dumas Y., 1996. Autécologie du pin laricio de Corse dans le secteur ligérien. *Revue Forestière Française*, Vol. 48, n° 3, p. 201-216. <https://doi.org/10.4267/2042/26738>

Le programme Dolar est né de l'interrogation des acteurs forestiers, tant publics que privés, autour de la maladie des bandes rouges et de ses conséquences sur le pin laricio en France.

À la suite d'une rencontre organisée en septembre 2014 sous l'égide du Département de la santé des forêts et entre les acteurs de la recherche, de la gestion forestière et du DSF, il a été décidé de déposer un programme de recherche visant à :

- ▀ évaluer l'effet des conditions pédoclimatiques sur le développement de la maladie,
- ▀ évaluer les possibilités de limiter la maladie par des stratégies de diversification des ressources génétiques utilisées,
- ▀ évaluer les possibilités de limiter la maladie par des stratégies sylvicoles adaptées.

Ce programme, intitulé Dolar pour *Dothistroma laricio*, a été lancé en 2015 et a bénéficié d'un financement du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, via le DSF de la Direction Générale de l'Alimentation de 2015 à 2019. Dans le cadre d'un dispositif régional AdevBois en 2015/2016, il a également reçu le soutien financier de la DRAAF de la région Pays de la Loire. De nombreux partenaires se sont associés pour permettre la réalisation de ce programme : CNPF, DSF, IGN, INRAE et ONF.

Une philosophie tournée vers la valorisation des acquis

Face à l'engouement exprimé par les gestionnaires forestiers pour le pin laricio, essence forestière alors relativement nouvelle en France continentale, de nombreux travaux scientifiques sont entrepris à partir des années 1980 et jusqu'à aujourd'hui, pour acquérir des connaissances et proposer des outils d'aide à la décision : étude autécologique (Gilbert *et al.*, 1996)⁶, étude dendroécologique (Lebourgeois, 1995)⁷, modèles de croissance et de qualité des bois (Meredieu, 1998)⁸, programme d'amélioration génétique, débuté pour ce dernier dès les années 1950. Ces travaux successifs ont généré de nombreuses données, acquises à partir de réseaux de placettes temporaires ou de dispositifs expérimentaux dédiés. Un réseau de dispositifs de suivi à long terme existe ainsi au sein du GIS Coopérative des données sur la croissance des peuplements forestiers (voir l'encadré sur le Gis Coop p. 25).

Pour chacune des grandes thématiques interrogées, le programme Dolar s'est adossé au maximum à ces données existantes, auxquelles il convient d'ajouter les placettes de l'IGN, dans un souci de valorisation des travaux de recherche



Expérimentation dans un peuplement de pin laricio de Corse (47 ans). Jérôme Rosa © CNPF

ou de caractérisation déjà entrepris et dans un souci d'économie de temps et de moyens. Ces sources de données ont été enrichies dans le cadre du projet afin de combler des lacunes ou de fournir des données actualisées et naturellement, de caractériser le niveau d'atteinte par la maladie des bandes rouges.

Les trois axes de recherche du projet Dolar ont été conduits indépendamment les uns des autres. Ils sont abordés dans les trois paragraphes suivants et leurs résultats respectifs font l'objet de 3 articles dans ce même dossier.

Comment évaluer l'effet des conditions pédoclimatiques sur le développement de la maladie ?

Comprendre les principaux facteurs influençant la maladie des bandes rouges nécessite de disposer de nombreuses placettes dans des gammes stationnelles différentes.

Deux jeux de données existants ont été sélectionnés sur un territoire d'étude comprenant les régions Pays de la Loire et Centre-Val de Loire :

- placettes des études dendroécologique (Lebourgeois, 1995) et autécologique du pin laricio de Corse (Gilbert *et al.*, 1996) : 400 relevés, réalisés dans les années 1992 et 1993, dont une grande partie des plantations dépasse dorénavant l'âge de 45 ans ;
- placettes de l'inventaire de l'IGN : 156 placettes retenues selon des critères géographiques, de pureté en pin laricio de Corse, de traitement (futaie régulière) et d'âge inférieur à 40 ans permettant ainsi de compléter le premier jeu de données.

C'est à partir de ces deux jeux de placettes temporaires qu'un plan d'échantillonnage a été bâti visant à croiser, avec suffisamment de poids statistique, les principaux facteurs susceptibles d'influencer le développement de la maladie des bandes rouges et relevés dans la bibliographie internationale, à savoir :

- au niveau du peuplement → son âge,
- au niveau climatique → les précipitations cumulées de juin à août,
- au niveau pédologique → la Réserve utile maximale (RUM), indiquant le niveau hydrique d'une part, et le taux de saturation d'autre part pour le niveau trophique.

Pour chacun de ces facteurs, 2 (pour l'âge) ou 3 classes de valeurs ont été définies.

Avec l'appui du CNPF pour les forêts privées, de l'ONF pour les placettes situées en forêts domaniales et de l'IGN pour les placettes réalisées dans le cadre de l'inventaire forestier national, trois stages d'étudiants en 2015 et 2016 ont permis de rechercher les placettes sélectionnées et de procéder à de nouvelles mesures dendrométriques quand les critères recherchés étaient validés. L'emplacement d'origine des placettes devait notamment être retrouvé afin de permettre la ré-utilisation des données phytoécologiques existantes et permettre de mesurer, dans des conditions écologiques homogènes, un minimum de 25 pins laricio représentant ainsi des surfaces de 2 à 15 ares selon la densité du peuplement. Au printemps 2016, l'ensemble des placettes retenues a fait l'objet d'une notation de maladie des bandes rouges, sur un sous-échantillon aléatoire de 10 arbres dans la placette avec 3 arbres dominants, ainsi que d'une description de la végétation accompagnatrice et de l'environnement immédiat de la placette. Ces variables d'environnement ont été complétées à l'échelle du département ou de la sylvoécocorégion (SER) à partir des résultats d'inventaires de l'IGN.

Les données phytoécologiques étant extraites des études antérieures, à l'origine des placettes temporaires, c'est-à-dire soit des études autécologiques et dendrochronologiques, soit des relevés de l'IGN, la nature de ces données est très variable. Seules quelques variables phytoécologiques ont pu être utilisées en procédant à un travail d'harmonisation. Elles ont été complétées par des variables bio-indiquées calculées en utilisant les relevés floristiques et la base de données EcoPlant7 (Gégout *et al.*, 2005). Différentes variables climatiques ont été calculées pour chaque placette et sur des périodes mensuelles, saisonnières, annuelles ou pluriannuelles à partir des données spatialisées quotidiennes du modèle Safran, fournies par Météo-France (Durand *et al.*, 2013).

Quelles sont les possibilités de limiter la maladie par des stratégies de diversification des ressources génétiques utilisées ?

Cette deuxième question du projet Dolar revient à explorer la sensibilité des différentes variétés et provenances de pin laricio (Corse/Calabre) tant au sein des VFA⁹ actuellement proposées à la vente qu'au sein même des composants des vergers à graines dont les VFA sont principalement issues. Plus globalement, l'ensemble des provenances des aires d'origine, potentiellement

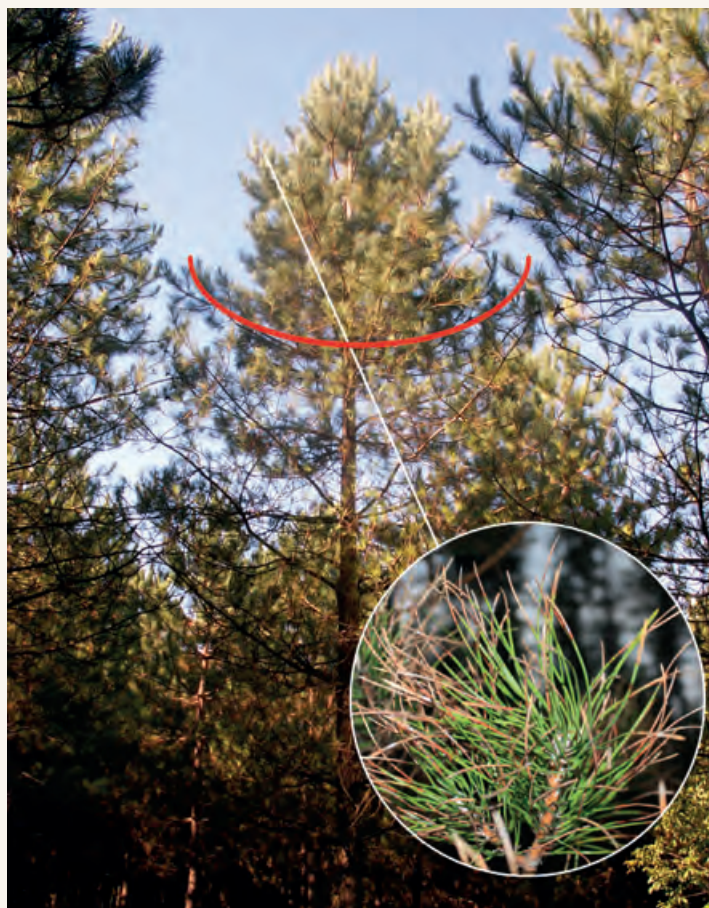
⁷ Lebourgeois F, 1995. Étude dendroécologique et écophysiological du pin laricio de Corse (*Pinus nigra Arnold ssp. Laricio* (Poiret) var *Corsicana*) en région Pays de la Loire. Thèse, Université d'Orsay – Paris Sud. 257 p. + annexes.

⁸ Meredieu C, 1998. Croissance et branchaison du pin laricio (*Pinus nigra Arnold ssp. laricio* (Poiret) Maire) : Élaboration et évaluation d'un système de modèles pour la prévision de caractéristiques des arbres et du bois. Thèse, Université Claude Bernard - Lyon 1, 238 p. + annexes.

⁹ Variété forestière améliorée

Focus sur la notation bande rouge utilisée dans le cadre de l'étude

Figure 1 – Différenciation du houppier notable et « non notable ». Distinction réalisée pour la notation du déficit foliaire. L'estimation de la coloration rouge anormale des aiguilles est faite indépendamment sur les deux zones de houppier.



Montage : Marion Sentis, Photos : Jérôme Rosa © CNPF

Les symptômes sont notés, conformément au protocole classiquement utilisé par les correspondants-observateurs du DSF.

Les observations sont réalisées sur deux parties distinctes du houppier (voir Figure 1) :

- le houppier notable qui reçoit la lumière et l'eau et qui est hors concurrence de ses voisins,
- la partie basse du houppier appelée « hors houppier notable » qui ne correspond pas aux caractéristiques précédentes.

La sévérité de la maladie des bandes rouges est évaluée grâce à deux observations :

- une observation du déficit foliaire : elle traduit la proportion de feuillage manquant sur les trois dernières années d'aiguilles normalement présentes sur les pins dans des proportions différentes (55 % pour l'année n, 35 % pour l'année n-1 et 10 % pour l'année n-2),
- l'observation de la coloration rouge anormale, également exprimée en pourcentage du volume total d'aiguilles encore présentes et notées indépendamment dans le houppier notable et dans la partie basse.

Un indice de dégâts cumulés (IDC) est calculé (uniquement pour le houppier notable) en utilisant de manière combinée le déficit foliaire et la proportion de coloration rouge. Il correspond ainsi à la proportion totale de houppier fonctionnel perdue.

Selon la taille ou position sociale de l'arbre, un pourcentage donné de perte ne représente pas une quantité de feuillage ou masse foliaire identique. L'estimation des symptômes à l'échelle du peuplement est donc basée sur le rapport des sommes des biomasses perdues et des biomasses théoriques.

absentes des vergers, peut également présenter un intérêt nouveau au regard de l'évolution du contexte sanitaire, de même que d'autres sous-espèces de pins noirs, s'il s'avérait nécessaire d'envisager de remplacer le pin laricio.

Au niveau international, des résultats positifs laissent entrevoir la possibilité de limiter l'impact de la maladie en introduisant un matériel végétal plus résistant. De telles différences de sensibilité à la maladie des bandes rouges ont déjà été constatées sur des provenances ou clones de pin noir. Par ailleurs, la faisabilité d'une telle stratégie d'atténuation de l'impact de cette maladie est démontrée en Nouvelle-Zélande, pour le pin radiata.

Pour répondre à ces questions, il était nécessaire de se replonger dans les programmes d'amélioration génétique du pin laricio débutés

au tout début des années 1970.

Différents types de réseaux existent, plus ou moins anciens, et installés par divers organismes : dispositifs de comparaison d'essences, dispositifs de comparaison de provenances, dispositifs d'évaluation de descendance, vergers à graines (arbres identifiés au niveau clonal ou familial), dispositifs d'évaluation de VFA.

Ces dispositifs sont plus ou moins suivis aujourd'hui avec parfois un arrêt total des observations depuis plusieurs années, car les résultats attendus à leur installation ont été acquis et les programmes de recherche éventuellement clos. Un état des lieux de ces réseaux a permis d'évaluer la possibilité de les intégrer, totalement ou partiellement, dans l'étude, en fonction de la pertinence des unités génétiques installées, de leur nombre en suffisance et de la présence d'autres pathologies pouvant parasiter les notations.



L'estimation des symptômes de la maladie des bandes rouges requiert une observation attentive à la jumelle.

Camille Couteau © INRAE

À la suite de cette première phase d'évaluation, les trois vergers à graines d'État (de clones et de familles) aujourd'hui en cours de production, deux dispositifs d'évaluation des VFA, quatre tests de descendances ainsi que trois tests de provenances, l'un comparant différentes sous-espèces de pins noirs, ont été sélectionnés.

Des mesures dendrométriques et des notations de maladie de bandes rouges sont opérées sur des échantillons d'arbres sélectionnés dans ces dispositifs. Les notations sanitaires ont suivi pour la plupart le protocole mis au point par le DSF (voir focus notation de la maladie). Dans certains cas néanmoins, une évaluation simplifiée des symptômes de la maladie est appliquée, prenant en compte un grand nombre d'arbres en peu de temps dans une phase exploratoire par exemple, ou une difficulté de visibilité du houppier des arbres dans le cas de peuplements très serrés notamment. L'évaluation a porté dans ce cas sur des rameaux récoltés et notés de manière indépendante par un jury de 3 notateurs pour chaque échantillon.

Des stratégies sylvicoles adaptées permettent-elles de limiter la maladie ?

Les sylviculteurs se posent beaucoup de questions autour des pratiques à privilégier pour limiter l'impact de la maladie des bandes rouges dans les peuplements atteints.

Basés sur ces inquiétudes, les attendus de cet axe du projet doivent permettre de répondre aux objectifs suivants :

- étudier les paramètres de niveau peuplement et de niveau arbre permettant d'expliquer la variabilité des dégâts observés,
- quantifier l'impact de la maladie sur la croissance au niveau arbre et la production au niveau peuplement,
- tester l'effet de la densité du peuplement de pin laricio sur l'impact de la maladie des bandes rouges.

Pour pouvoir analyser ces éléments, les partenaires se sont portés dans un premier temps sur les dispositifs intégrés dans le groupe Pin laricio du GIS Coopérative de données (Gis Coop, Seynave *et al.*, 2018). Des dispositifs complémentaires ont également été recherchés chez les partenaires.

Au final, une sélection de 17 expérimentations a été faite :

- 2 dispositifs de démonstration installés par le CNPF délégation d'Île-de-France et du Centre,
- 5 dispositifs sylvicoles du réseau expérimental d'INRAE (ex : Irstea),
- et les 10 dispositifs du GIS Coop situés dans la moitié nord de la France.

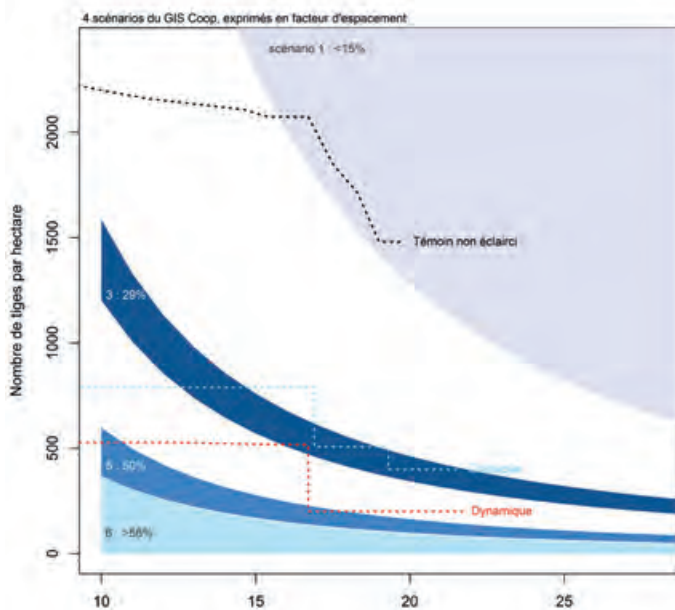
L'intérêt étant de disposer de scénarios sylvicoles contrastés, une sélection de deux à trois placettes a été réalisée dans chaque dispositif en privilégiant les témoins sans intervention, les itinéraires classiques et les scénarios très dynamiques (Figure 2).

Dans chaque placette, un échantillon de 25 arbres a été défini, en sélectionnant aléatoirement 5 arbres dans 5 classes de même amplitude de circonférence, de sorte à couvrir uniformément la diversité des positions sociales au sein du peuplement.

Ces 1 190 arbres (issus des mesures des 48 placettes sélectionnées) ont ainsi été suivis sur 3 années successives par les Correspondants-Observateurs du DSF conformément à leur domaine géographique d'activité. Chaque année, la campagne de notation des symptômes de la maladie des bandes rouges était précédée d'une phase d'inter-calibration de tous les opérateurs concernés.

Par ailleurs, des mesures sur l'ensemble des tiges de la placette ont été prises soit selon le calendrier habituel des mesures, soit en complément, afin de disposer d'une description dendrométrique

Figure 2 – Les 3 placettes sélectionnées par dispositif suivent des trajectoires de densités volontairement très contrastées.



Exemple d'un dispositif du groupe Pin laricio du GIS Coop en FD d'Orléans, avec 4 des scénarios expérimentés par le GIS exprimés en facteur d'espacement¹⁰.

Source : GIS Coop

¹⁰ Rapport de l'espacement moyen des arbres par hectare d'un peuplement forestier à la hauteur dominante de ce peuplement.

précise au démarrage et à la fin de la période de suivi (fin d'années 2014 et 2017), et permettre de calculer et analyser en lien avec les notations de maladie, les accroissements des arbres et des peuplements sur cette période de 3 ans.

Les dispositifs intégrés étant suivis depuis plusieurs années, toutes les mesures précédentes ont été intégrées à l'étude, et ont pu apporter des informations complémentaires.

Dans le cadre du projet, 13 fosses pédologiques ont été décrites dans les dispositifs du GIS Coop, selon le protocole du GIS. Pour les autres dispositifs, les descriptions ont été effectuées antérieurement en application de protocoles différents. Une sélection des paramètres pédologiques pouvant être harmonisés selon les différents protocoles a donc été opérée. Elle regroupe des éléments de texture, profondeur d'apparition des principales contraintes, telles l'hydromorphie ou la charge en éléments grossiers, ainsi que des variables extraites de couches SIG spatialisées à une résolution de 1 km (BDD DIGITALIS, Laboratoire Silva, Gégout *et al.*, 2005, Piedallu *et al.*, 2011).

Les variables climatiques agrégées par saisons, mois, années ou pour diverses périodes plu-

riannuelles ont été calculées à l'aide des données quotidiennes issues du modèle Safran (Durand *et al.*, 1993).

Dolar : un investissement important !

Le projet Dolar a nécessité un investissement fort et continu, entre 2014 et 2019, de tous les partenaires pour satisfaire aux objectifs du programme, avec :

- 88 personnes engagées sur le projet ;
- 20 pôles ou unités, réparties dans 5 établissements ;
- 1 538 jours ETP engagés ;
- 6 174 arbres notés en notation bandes rouges.

Ce projet n'aurait pas été possible sans l'implication des propriétaires ou gestionnaires forestiers. Les partenaires leur sont reconnaissants pour avoir autorisé l'accès à leurs parcelles, et pour certains, la pose de matériels d'enregistrement ou le prélèvement d'échantillons.

De vifs remerciements vont également aux établissements, auteurs et contributeurs concernés pour la constitution des bases de données, jeux de données et réseaux expérimentaux mis à disposition du projet, et en particulier, l'IGN, Météo-France et le GIS Coop, mais également le CNPF et INRAE.

Le projet Dolar a ainsi permis de regrouper un nombre impressionnant de données, provenant de sources multiples. Il s'agit pour une grande part de données anciennes ou existantes, qui trouvent dans ce projet une nouvelle voie de valorisation, illustrant là la force des réseaux d'expérimentations, des collaborations inter-organismes et du partage de données. La deuxième partie des données a été spécifiquement récoltée dans le cadre du projet, et vient enrichir les réseaux existants, soit par l'ajout de types d'observations nouveaux (la maladie des bandes rouges), soit par l'apport de données jusqu'alors lacunaires (fosses pédologiques).

L'ensemble de ces données a permis de calculer un grand nombre de variables, sanitaires, dendrométriques, pédologiques, climatiques, à l'échelle de l'arbre ou du peuplement, sur la base desquelles ont été conduites les analyses visant à rechercher les facteurs déterminant le développement et l'impact de la maladie des bandes rouges.

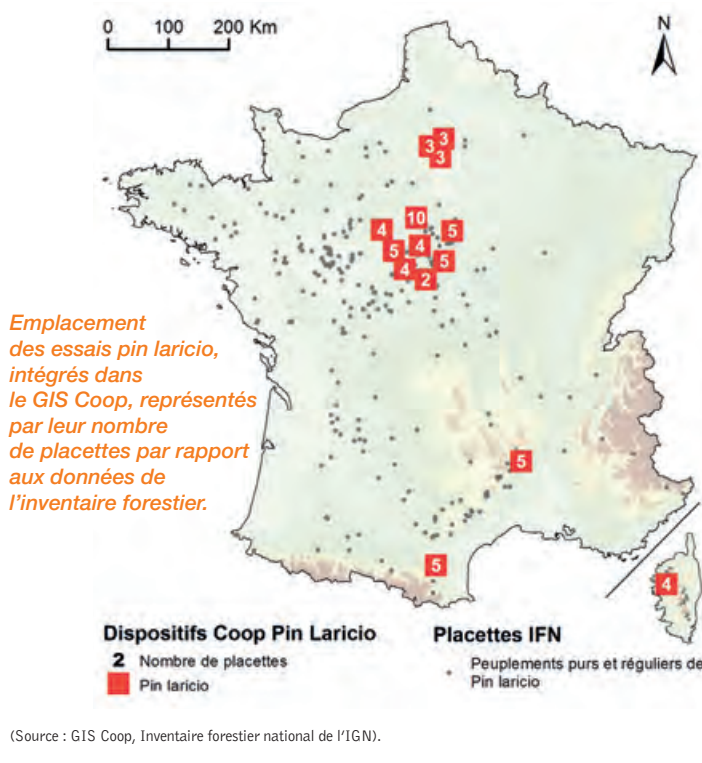
Si une partie des données est encore en cours d'analyse et devrait apporter de nouvelles

connaissances prochainement, les articles suivants de ce dossier exposent pour chacun des volets de l'étude les principaux résultats obtenus et permettent de dresser des recommandations pour l'avenir du pin laricio en France. ■

Groupement d'intérêt scientifique (GIS) Coopérative de données sur la croissance des peuplements forestiers

Depuis 1995, les principaux acteurs de la recherche et du développement forestier en France (AgroParisTech, CPFA, CNPF-IDF, FCBA, INRAE et ONF) ont mutualisé leurs moyens et leurs compétences au sein du GIS Coopérative de données sur la croissance des peuplements forestiers (GIS Coop). Ce Groupement d'intérêt scientifique, soutenu par le ministère en charge de la Forêt, a pour objet le recueil et la mise en commun de données scientifiques sur la croissance des peuplements forestiers destinées à l'établissement de modèles de croissance et d'outils d'aide à la gestion. Cet objectif nécessite l'installation, le suivi et la mesure à très long terme, selon des protocoles standardisés, de réseaux multi-locaux et multi-organismes de placettes permanentes dans des conditions pédoclimatiques représentatives de l'aire de répartition des essences étudiées. Le GIS Coop gère ainsi 5 réseaux nationaux d'expérimentation sylvicole (chênes sessile et pédonculé, douglas, pin laricio [Figure 3], pin maritime et forêt hétérogène). L'ensemble constitue une expérience de sylvicultures de portée nationale, dont la réalisation serait impossible sans une formule coopérative. Site GIS Coop : <http://www6.inra.fr/giscoop>

Figure 3 – Carte des dispositifs pin laricio intégrés au réseau du GIS Coop



En savoir +

Perret S. *et al.*, 2019. Adaptation de la sylviculture du pin laricio en France dans le contexte de la maladie des bandes rouges : Quels sont les déterminants de la vulnérabilité du pin laricio à la maladie des bandes rouges ? Rapport final du projet Dolar. 144 p. <https://hal.inrae.fr/hal-03336070>

Bibliographie

- Durand Y., Brun E., Mérindol L., Guyomarc'h G., Lesaffre B. et Martin E., 1993. A meteorological estimation of relevant parameters for snow models. *Annals of Glaciology*, 18, p. 65-71.
- Gégout J.-C., Coudun C., Bailly G., Jabiol B., 2005. EcoPlant: A forest site database linking floristic data with soil and climate variables. *Journal of Vegetation Science*, 16(2), p. 257-260. [https://doi.org/10.1658/1100-9233\(2005\)016\[0257:EAFSDL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1658/1100-9233(2005)016[0257:EAFSDL]2.0.CO;2)
- Piedallu C., Gégout J.-C., Bruand A., Seynave I., 2011. Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands. *Geoderma*, 160 (3-4), p. 355-366. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.004>
- Seynave I., Bailly A., Balandier P., Bontemps J., Caillly P., Cordonnier T., Deleuze C., Dhôte J.-F., Ginisty C., Lebourgeois F., Merzeau D., Paillasa E., Perret S., Richter C., Meredieu C., 2018. GIS Coop: networks of silvicultural trials for supporting forest management under changing environment. *Annals of Forest Science*, 75:48. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0692-z>

Résumé

De 2014 à 2019, le projet Dolar a fortement mobilisé les acteurs français de recherche et développement sur la maladie des bandes rouges du pin laricio. L'utilisation de réseaux existants a permis de conduire simultanément trois volets d'études complémentaires couvrant les thématiques des facteurs pédo-climatiques, génétiques et sylvicoles. Pour chacun des volets, des protocoles précis d'acquisition de nouvelles données ont été définis afin d'appréhender les facteurs influents et d'évaluer quantitativement les effets de la maladie.

Le climat et la station influencent-ils le développement de la maladie des bandes rouges dans le grand quart Nord-Ouest de la France ?



Par Dominique Balay¹, Ingrid Seynave², Jérôme Rosa¹, Sandrine Perret²

L'étude d'environ 150 placettes de plantation de pins laricio en régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire montre l'influence prépondérante des variables climatiques sur le développement de la maladie des bandes rouges et particulièrement celles liées aux précipitations. Cependant des facteurs comme l'âge ou la pauvreté du sol contribuent également à amplifier les symptômes de la maladie.

¹ Centre national de la propriété forestière (CNPF)

² Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE)

³ Voir article p. 20, *Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts*

Confinée à l'origine dans l'hémisphère sud, la maladie des bandes rouges s'est propagée ensuite vers le nord, prenant le statut de maladie émergente en Europe ou en Amérique du Nord.

Au niveau international, les études portant sur le fonctionnement biologique du champignon et sa relation aux événements climatiques sont nombreuses. Elles démontrent le rôle primordial de l'humidité, nécessaire au développement du champignon, à sa reproduction et à la dispersion de ses spores. Qu'elle soit sous forme de pluie, de brume ou de brouillard, une durée d'humidité prolongée pendant la saison de végétation peut entraîner un rapide développement des foyers en augmentant la quantité d'inoculum et le risque d'infections tard dans l'été.

En lien avec l'humidité, le rôle des températures est mis en évidence. Une température minimum (5 à 7 °C) et une température optimale (18-20 °C) sont également nécessaires au développement et à la reproduction du champignon.

Les études les plus récentes montrent que l'augmentation des périodes chaudes et humides, principalement au printemps et en été, est un facteur d'augmentation des épidémies (Woods *et al.*, 2005 ; Fabre *et al.*, 2012 ; Welsh *et al.*, 2014).

Les études portant sur les facteurs stationnels sont, quant à elles, peu nombreuses, généralement anciennes et uniquement réalisées dans

l'hémisphère sud. En Australie, elles ont montré le rôle du statut nutritionnel du sol, à l'origine de déséquilibres dans la composition du feuillage favorables au développement de *Dothistroma septosporum* (Eldridge *et al.*, 1981 ; Lambert, 1986). La nature du matériau parental serait principalement en cause, en interaction avec d'autres facteurs comme la pente ou la profondeur de la couche imperméable.

Si aucun lien n'a pu être décelé avec la végétation d'accompagnement (Eldridge *et al.*, 1981), diverses hypothèses sont émises concernant la gestion sylvicole, qui en fonction de l'ouverture des peuplements, peut modifier la température, l'humidité, la pénétration de l'air ou de la lumière dans le peuplement. Sans que l'on comprenne encore les raisons, ces changements de conditions de milieux semblent parfois favorables ou parfois défavorables à la maladie, révélant la grande diversité des situations (Ivory, 1972 ; Mullet *et al.*, 2015).

L'étude présentée dans cet article avait pour objectif d'identifier, en France, les conditions pédoclimatiques conditionnant le développement de la maladie. Elle a été conduite en 2015 et 2016, en régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire, pour lesquelles l'enjeu économique est important, les peuplements de pin laricio couvrant environ 70 000 hectares (IGN, campagne 2009-13), soit 9 à 10 % de la surface forestière régionale.

Un large panel de données sur deux régions

Situées sur la zone de transition entre climats océanique et continental tempéré, ces deux régions s'étendent sur une partie du Massif armoricain, du Bassin parisien et de la Vallée de la Loire. Elles couvrent 12 sylvoécotésions aux conditions climatiques et stationnelles variées.

La stratégie d'échantillonnage, basée sur l'utilisation de deux jeux de placettes temporaires pré-existants comme décrite dans l'article précédent³, visait les peuplements en futaies régulières, dont l'essence principale est le pin laricio de Corse, et couvrant une large gamme de conditions climatiques, pédologiques et topographiques.

La sélection des placettes au sein de chaque strate d'échantillonnage (54 lorsque l'on croise les 4 facteurs de stratification cités, voir Figure 1) a été réalisée par tirage aléatoire, avec un objectif de 4 placettes par strate. Certaines strates étaient cependant peu représentées dans les jeux de données pré-existants, en particulier celles où la réserve hydrique ou la fertilité étaient faibles. Les peuplements jeunes, avec une majorité de boisements de terres agricoles, sont également légèrement moins représentés que les peuplements de plus de 35 ans.

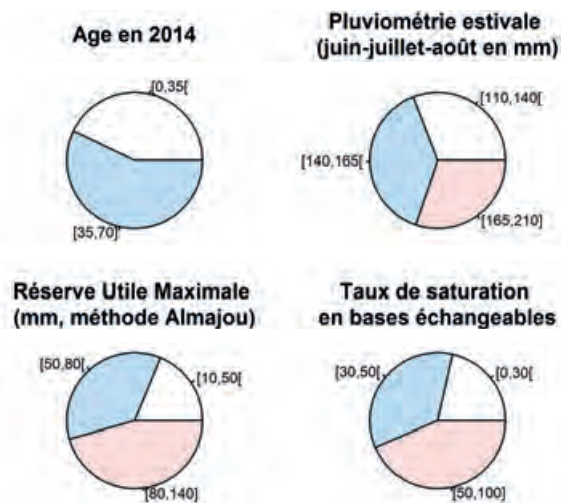
164 placettes ont ainsi été installées et mesurées entre février et avril 2016. Les relevés terrain ont permis d'acquies les données dendrométriques des peuplements, d'évaluer la présence et l'intensité des symptômes de la maladie des bandes rouges, et de caractériser la végétation d'accompagnement ainsi que l'environnement proche des placettes. Les données pédologiques et topographiques sont issues des études antérieures (Lebourgeois, 1995 ; Gilbert *et al.*, 1996, IGN). Les données climatiques sont calculées à partir du modèle Safran de Météo-France (Quintana-Segui *et al.*, 2008).

Les placettes présentant des rougissements dus à d'autres facteurs que *Dothistroma* (*Diplodia sapinea* notamment) ont été écartées lors de l'analyse. Au final 149 placettes ont servi à l'analyse (Figure 3).

Sévérité de la maladie des bandes rouges observée

La sévérité de la maladie a été observée à l'aide de deux critères : le déficit foliaire d'une part, et la proportion de coloration rouge d'autre part. Ces deux critères ont été notés individuellement au

Figure 1 – Répartition des placettes retenues par niveau pour chacun des quatre facteurs de stratification du plan d'échantillonnage. De larges gradients sont couverts pour l'âge des peuplements, le climat, les conditions d'alimentation hydrique et le niveau trophique du sol.



(Données calculées à partir des relevés de l'IGN, Lebourgeois (1995) et Gilbert *et al.* (1996) et des bases de données Météo France et EcoPlant7).

Figure 3 – Localisation des 149 placettes de pin laricio de Corse retenues pour l'analyse



Sources : IGN (limites administratives), IGN, Lebourgeois (1995) et Gilbert *et al.* (1996) pour les placettes pin laricio.

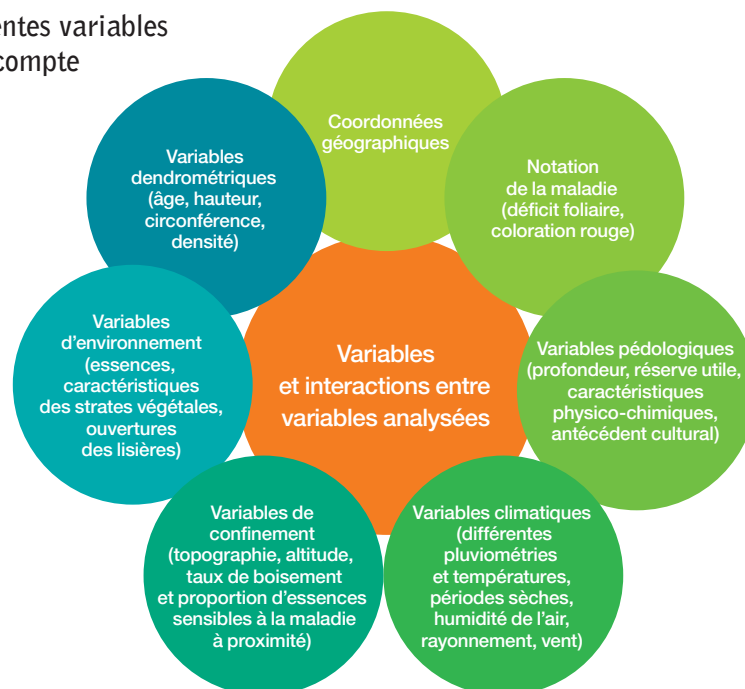
Caractéristiques principales des placettes de l'échantillon mesuré

Variables	Moyenne	Min – max
Âge (fin 2014)	40	14,5 – 71
S % (facteur d'espacement)	26,7	16,5 – 42
G/ha (surface terrière/hectare)	27,3	9,8 – 57,5
N/ha (nombre/hectare)	566	193 – 1633
Hdom (Hauteur dominante)	18,9	8,7 – 27,2
Cdom (Circonférence dominante)	104	52 – 159
Précipitations estivales (mm)	152,2	124,1 – 201,1
RUM (méthode Almajou)	77,2	20,6 – 133
S/T	49,5	12,8 – 100

Les variables utilisées

Figure 2 – Schéma présentant les différentes variables et interactions entre variables prises en compte dans l'analyse

Cinq catégories de variables ont été testées : dendrométriques, climatiques, pédologiques, topographiques et environnementales. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.



Les variables climatiques et pédologiques testées (Données issues des relevés de l'IGN, Lebourgeois (1995) et Gilbert *et al.* (1996) ou calculées à partir des bases de données de l'IGN, Météo France (Safran) et EcoPlant7).

Variables climatiques	Variables pédologiques
<ul style="list-style-type: none"> • Pluviométries : mensuelles, printanières (04/06), estivales (06/08 et 07/09), de la saison de végétation (04/09), annuelles en 2013, 2014, 2015, par mois et 2 mois sur 2 ans (2013/2014, 2014/2015), 3 ans (2013/2015) et 5 ans (2011/2015) • Nombre de jours de pluie : mensuels, printaniers (04/06), estivaux (06/08 et 07/09), de la saison de végétation (04/09), annuels en 2013, 2014, 2015 • Températures : moyennes mensuelles, par saison, de la saison de végétation (04/09), annuelles, en 2013, 2014, 2015, par mois et 2 mois sur 2 ans (2013/2014, 2014/2015), 3 ans (2013/2015) et 5 ans (2011/2015) • Durées moyennes et fréquences des épisodes pluvieux (≥ 3 jours, à 7 °C/10 °C/16 °C/18 °C/20 °C) : mensuels, printaniers, estivaux, de la saison de végétation, annuels, en 2013, 2014, 2015, sur 2 ans (2013/2014, 2014/2015), 3 ans (2013/2015) et 5 ans (2011/2015) • Durées moyennes et fréquences des épisodes secs (≥ 3 jours) : mensuels, printaniers, estivaux, de la saison de végétation, annuels (2013, 2014, 2015), bisannuels (2013/2014, 2014/2015), sur 3 ans (2013/2015) et 5 ans (2011/2015) • Humidités relatives : moyennes mensuelles, par 2 et 3 mois, de la saison de végétation, annuelles, en 2013, 2014, 2015, sur 2 ans (2013/2014, 2014/2015), 3 ans (2013/2015) et 5 ans (2011/2015) • Rayonnements : moyens mensuels, saisonniers et annuels, en 2013, 2014, 2015 • Vents : moyens mensuels, saisonniers et annuels, en 2013, 2014, 2015 	<ul style="list-style-type: none"> • Type sol (Duchaufour) • Humus • Texture horizon 1 • Profondeur du : plancher argileux / calcaire / traces d'oxydation / d'oxydo-réduction • % cailloux sur 40 cm • Réserve utile maximale (Almajou) • C/N, S/T • pH • Antécédent agricole/forestier

Les protocoles de mesure mis en œuvre pour réaliser les mesures sylvicoles et d'impact de la maladie des bandes rouges sont présentés dans l'article *Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts*, p. 20 de ce dossier.

niveau du houppier fonctionnel sur une sélection aléatoire de 10 à 13 arbres par placette, incluant 3 arbres dominants. La valeur à l'échelle du peuplement pour chaque critère a été calculée sur chacune des placettes, à partir de l'ensemble des données « arbres » de la placette.

Chacun des deux critères – déficit foliaire et coloration rouge à l'échelle de la placette – a été analysé indépendamment, au regard de l'ensemble des variables climatiques, pédologiques, topographiques, dendrométriques et environnementales mesurées. Considérées isolément, de nombreuses variables sont corrélées significativement aux niveaux de symptômes de la maladie des bandes rouges. Nous avons donc utilisé un modèle de régression multiple, qui permet de quantifier la contribution relative de plusieurs variables explicatives sur une variable à expliquer, ainsi que leurs potentielles interactions.

Le déficit foliaire du houppier fonctionnel

Cette notation, faite en 2016, est la conséquence des atteintes des arbres par la maladie les années précédentes (années 2013 à 2015), période sur laquelle la maladie a été particulièrement sévère. Le déficit foliaire moyen observé en 2016 sur l'ensemble des placettes, 56 %, est donc très important. Les observations varient de 21,5 % pour la note minimum à 85 % pour le maximum. Seules 4 % des placettes présentent un déficit foliaire supérieur à 75 %, considéré comme le seuil d'arrêt de croissance en diamètre des arbres pour le pin radiata en Nouvelle-Zélande.

Une branche de pin porte normalement trois années d'aiguilles. Au printemps 2016, nous avons observé sur la majorité des arbres que seules les aiguilles de l'année 2015 étaient encore partiellement présentes. Celles de 2014 étaient parfois encore partiellement présentes, mais celles de 2013 ne l'étaient que très exceptionnellement. Les branches les plus impactées avaient un aspect en « queue de lion » caractéristique de cette maladie (voir photo plus haut).

L'analyse des modèles révèle que quatre variables interagissant deux à deux expliquent 50 % de la variabilité du déficit foliaire au niveau de la placette.

► Une variable « peuplement » : l'âge

L'âge du peuplement, ou plus indirectement la dimension des arbres, entraîne une importante variation de déficit foliaire sur la gamme d'âges étudiée. Les peuplements les plus âgés s'avèrent plus atteints par la maladie.



Aspect « queue de lion » provoquée par la maladie sur une pousse de pin laricio

Dominique Balay © CNPF

L'augmentation constatée est d'environ +4 % de déficit foliaire par tranche de 10 ans d'âge supplémentaire.

► Deux variables « climatiques » : pluviométrie printanière et pluviométrie estivale

Parmi les nombreuses variables climatiques pluriannuelles, annuelles ou infra-annuelles impactant individuellement le déficit foliaire, deux sont retenues dans l'analyse :

- le cumul des précipitations du mois d'avril sur 5 ans (2011-2015), qui caractérise la pluviométrie printanière, est le facteur le plus déterminant,
- la fréquence des épisodes pluvieux de juin (+ de 3 jours consécutifs) sur 5 ans, indicatrice d'humidité favorable au développement du champignon, ressort comme un facteur climatique secondaire.

Ces variables de pluviométrie sont corrélées positivement au déficit foliaire. Elles entraînent respectivement son augmentation de +17,8 % et +10,7 % sur la gamme de valeurs observées, soit de 55 à 75 mm de pluviométrie en avril et pour un doublement de la fréquence des épisodes pluvieux au cours du mois de juin, de 1,4 à 2,8.

► Une variable « pédologique » : la richesse chimique du sol

Au niveau pédologique, seules les variables indicatrices du niveau trophique sont liées significativement au déficit foliaire. L'analyse multiple retient ainsi le rapport Carbone organique/Azote total (C/N), indicateur de la nutrition azotée, et montre que le déficit foliaire est d'autant plus important que la fertilité minérale du sol est faible. Le déficit foliaire augmente de 9,1 % pour une variation du rapport C/N de 10 à 35 dans le jeu de données étudiées.

Il ressort de l'analyse l'existence d'interactions entre variables explicatives qui indiquent que les effets climatiques sont amplifiés dans certaines situations. Ainsi, l'effet de la fréquence des épisodes pluvieux de juin est d'autant plus fort que les peuplements sont âgés. À l'inverse, les précipitations d'avril et le rapport C/N ont des effets individuels nettement plus significatifs, et interagissent significativement lorsqu'ils n'engendrent pas individuellement des déficits foliaires déjà élevés. Ainsi, le cumul de facteurs de stress pour l'arbre ou de facteurs favorables au développement de *Dothistroma*, quels qu'ils soient – niveau trophique faible, précipitations importantes, augmentation de l'âge – entraîne une augmentation du déficit foliaire à l'échelle du peuplement.

La coloration rouge

Cette notation, réalisée en fin d'hiver/printemps, évalue majoritairement l'infection par le champignon au cours de l'année précédente, car généralement, les aiguilles infectées antérieurement sont déjà tombées. Les résultats des observations réalisées en 2016 sur l'ensemble des placettes montrent que

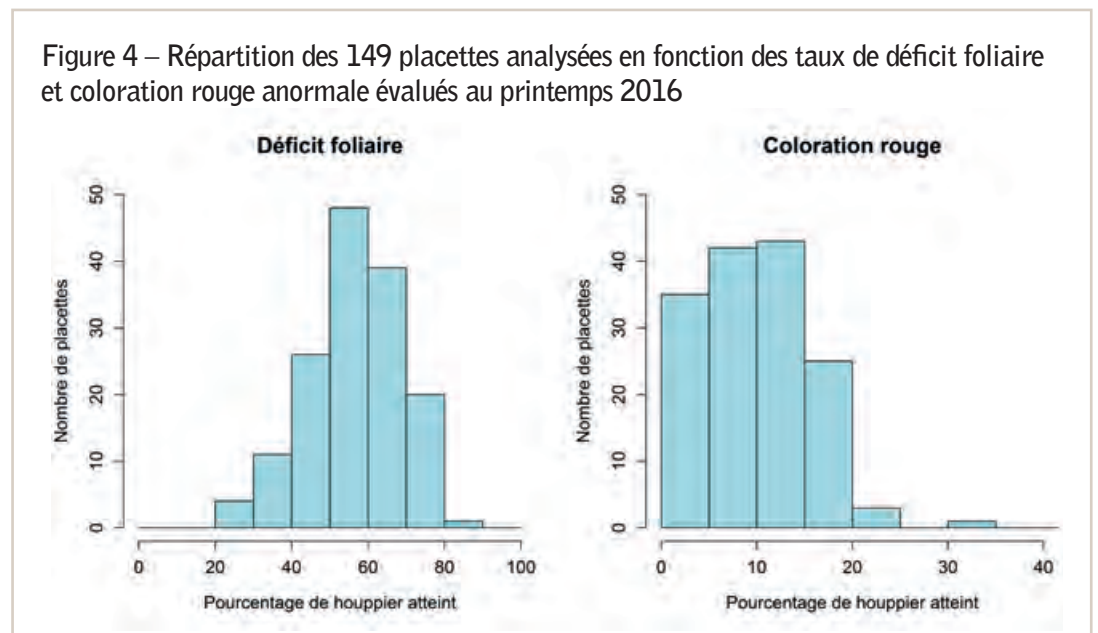
la proportion de coloration rouge est très faible, avec une moyenne générale de 10 %, un minimum au niveau placette de 0 % et un maximum de 30 %. 2015 a ainsi été une année durant laquelle le champignon s'est moins développé dans les régions étudiées, probablement à cause de conditions climatiques moins humides.

Le modèle de régression obtenu explique seulement 24 % de la variabilité de la proportion de coloration rouge anormale à l'échelle de la placette. Comme pour le déficit foliaire, ce sont principalement des variables climatiques qui ressortent de manière significative :

► la durée des épisodes secs en août 2015 diminue la proportion de coloration rouge, de - 16,6 % lorsqu'on passe de 0 et 9 jours sans précipitations,

► alors que la fréquence des épisodes pluvieux à + de 7 °C en mai 2014 l'augmente, de +6,1 % entre 2 et 5 épisodes pluvieux.

Les diagrammes ci-dessous présentent la répartition des placettes mesurées par classes du déficit foliaire et de la coloration rouge.



Conclusion et perspectives

Cette étude conduite dans les régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire, confirme l'effet prépondérant évoqué dans la littérature internationale (Welsh *et al.*, 2014), des variables climatiques sur le développement de la maladie des bandes rouges, et, en particulier, des

variables liées au régime pluviométrique de début de saison de végétation.

En revanche, l'étude montre qu'une augmentation de périodes de sécheresse estivale permettrait de freiner fortement la sévérité de la maladie dans les peuplements de pin laricio.



Évaluation de la sévérité de la maladie des bandes rouges dans un peuplement de pin laricio des Pays de la Loire. Riaillé, mai 2016.

Sandrine Perret © INRAE

Au-delà de la quantité d'eau reçue, les résultats montrent bien l'impact prépondérant de leur fréquence et durée sur les niveaux de dégâts générés par la maladie des bandes rouges. Ces différentes variables climatiques sont plutôt peu à modestement corrélées les unes aux autres, hautement variables d'une année à la suivante, ainsi que leur niveau de corrélation, et peu prédictibles.

Les projections climatiques attendues laissent entrevoir une augmentation – plus ou moins forte en fonction des modèles – des températures moyennes mais également des périodes de sécheresse. En revanche, les incertitudes concernant la projection des précipitations sont très fortes, avec des prédictions parfois opposées selon les modèles. Il n'est donc actuellement pas pertinent d'identifier à partir de ces résultats les zones qui pourraient devenir plus humides au printemps ou plus sèches en été.

Si nous n'avons pas relevé d'effets significatifs des descripteurs classiques des sols (pourtant bien représentés dans le jeu de données), comme en particulier l'hydromorphie, la texture, l'alimentation hydrique du sol, nous avons en revanche montré que l'âge et le faible niveau de richesse trophique interviennent comme facteur aggravant et en interaction avec les facteurs climatiques favorables aux champignons responsables de la maladie.

Ni la végétation d'accompagnement ni le contexte environnemental – topographie, confinement, abondance d'espèces sensibles à la maladie des bandes rouges autour des placettes (à l'échelle des sylvoécotones) – n'ont été retenus comme variable explicative dans cette étude. Le très faible nombre de placettes en pente, et la faible disparité de l'altitude et de la topographie dans l'échantillon peuvent expliquer ce résultat. Il en est de même pour la végétation d'accompagnement constituant

les strates arbustives et arborescentes, dont le couvert était généralement faible (< 15 % pour respectivement 58 et 72 % des placettes). Il serait néanmoins intéressant de réaliser une observation à une échelle du massif, potentiellement plus pertinente pour rendre compte localement d'une plus grande quantité d'inoculum (spores) que la sylvoécologie.

Conséquences sur la gestion forestière

Cette analyse montre que le développement de la maladie est en majorité conditionné par des variables climatiques. Les conditions identifiées favorables au développement de la maladie ne sont pas tendanciellement prédites par la majorité des modèles climatiques. Le climat des régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire pourra certaines années être bénéfique à *Dothistroma*, mais sans qu'une augmentation de ces années favorables au champignon soient prédites à la hausse. Dans ces régions, le pin laricio reste donc une essence à conserver parmi les essences « objectif ».

Si le sylviculteur ne peut ni anticiper ni influencer sur ces variables climatiques, nos résultats montrent qu'il est néanmoins en mesure de modérer leurs impacts en veillant au renouvellement des peuplements et au choix de l'espèce en fonction de la station.

L'adéquation entre la station et les besoins de l'espèce installée apparaît donc comme une question majeure pour le forestier, qui souhaitera planter du pin laricio de Corse. Les sols très acides ou présentant un déséquilibre trophique trop important devront être évités.

Aujourd'hui, le changement climatique, l'émergence de nouveaux agents pathogènes et de crises sanitaires associées nous incitent à diversifier les espèces lors des boisements et des reboisements. Il resterait cependant intéressant de pouvoir évaluer le « risque » *Dothistroma* sur des secteurs (massif, département, région ?) intéressés par le pin laricio de Corse, en lien avec les évolutions climatiques proposées par les modèles du GIEC⁴. ■

⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Bibliographie

- Balay D., 2016. *Quels sont les déterminants pédoclimatiques de la vulnérabilité du Pin laricio de Corse à la maladie des bandes rouges en régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire ?* Mémoire Master Fage, AgroParisTech. 38 p.+ annexes.
- Eldridge R. H., Turner J., Lambert M. J., 1981. *Dothistroma* needle blight in a New South Wales *Pinus radiata* plantation in relation to soil types, *Australian Forestry*, 44, 1, p. 42-45, DOI: 10.1080/00049158.1981.10674288
- Fabre B., Ioos R., Piou D., et Marçais B., 2012. Is the emergence of *Dothistroma* Needle Blight of Pine in France Caused by the Cryptic Species *Dothistroma pini*? *Phytopathology*, 102, 1, p. 47-54.
- Gilbert J.-M., Chevalier R., Dumas Y., 1996. Autécologie du pin laricio de Corse dans le secteur ligérien. *Revue Forestière Française*, Vol. 48, n° 3, p. 201-216. <https://doi.org/10.4267/2042/26738>
- Ivory M.H., 1972. Resistance to *Dothistroma* needle blight induced in *Pinus radiata* by maturity and shade, *Transactions of the British Mycological society*, 59, 2, p. 205-212.
- Lambert, M. J., 1986. Sulphur and nitrogen nutrition and their interactive effects on *Dothistroma* infection in *Pinus radiata*. *Canadian Journal of Forest Research*, 16, 5, p. 1055-1062.
- Lebourgeois F., 1995. *Étude dendroécologique et écophysiological du pin laricio de Corse (Pinus nigra Arnold ssp Laricio (Poiret) var Corsicana) en région Pays de la Loire*. Thèse, Université d'Orsay – Paris Sud. 257 p. + annexes.
- Mullett M. S., Brown A. V., Barnes I., 2015. Population structure and reproductive mode of *Dothistroma septosporum* in the Brittany peninsula of France. *European Journal of Plant Pathology*, 143(2), p. 261-275.
- Quintana-Segui P., Le Moigne P., Durand Y., Martin E., Habets F., Baillon M., Canellas C., Franchisteguy L., Morel S., 2008. Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN Analysis over France. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, p. 92-107.
- Welsh C., Lewis K. J., Woods A.J., 2014. Regional outbreak dynamics of *Dothistroma* needle blight linked to weather patterns in British Columbia, *Canadian Journal of Forest Research*, 44, p. 212-219.
- Woods A.J., Coates D., Hamman A., 2005. Is an Unprecedented *Dothistroma* Needle Blight Epidemic Related to Climate Change? *BioScience*, 55 (9), p. 761-769.

Résumé

Pour mesurer les effets des conditions pédoclimatiques sur le développement de la maladie des bandes rouges, 149 placettes de plantation de pins laricio de Corse en régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire ont été sélectionnées et mesurées. Les résultats de l'étude montrent que le développement de la maladie est fortement corrélé aux événements climatiques. Les périodes humides et chaudes lui sont favorables, alors que les sécheresses estivales le freinent. Les peuplements âgés et les sols pauvres sont également plus sévèrement atteints. L'installation des pins laricio sur les meilleures stations favorisera leur résistance.

Mots-clés : pin laricio, maladie des bandes rouges, climat, station.

Les pins laricio sont-ils tous égaux face à la maladie des bandes rouges ?



Par Sandrine Perret¹, Bruno Fady², Christian Ginisty¹, Guia Giovannelli², Stéphane Matz¹, Gwenaël Philippe¹, Anne Roig², Caroline Scotti-Saintagne²

Le pin laricio a bénéficié de travaux de recherches, notamment de sélections, remarquables. Les nombreux dispositifs génétiques existants sont utilisés pour explorer le lien entre origine génétique et sensibilité à la maladie des bandes rouges, avec une attention particulière aux VFA³ produites dans les vergers à graines. Il a ainsi été nécessaire de mieux décrire la composition génétique du verger à graines de pin laricio de Calabre de Sivens, situé dans le Tarn. Des conseils sont formulés pour garantir le maintien d'une bonne diversité génétique et favoriser la résistance du pin laricio à la maladie des bandes rouges.

Des exemples d'atténuation des conséquences de la maladie des bandes rouges par l'utilisation de ressources génétiques moins sensibles existent dans le monde, notamment sur *Pinus radiata* en Nouvelle-Zélande. Utiliser la variabilité génétique de la résistance est donc une piste de travail intéressante pour le pin laricio en France, qui a historiquement bénéficié d'un important travail d'amélioration génétique pour répondre aux besoins de la filière forestière française.

Sélections sur le pin laricio dès les années 1960

Si des travaux de sélection de l'espèce collective *Pinus nigra* ont débuté dès les années 1950-1960 à la station de Recherche forestière de l'École nationale des Eaux et Forêts (Nancy), avec la mise en place de nombreux tests de provenances, le programme d'amélioration génétique du pin noir de l'INRA s'est par la suite principalement axé sur les pins laricio de Corse et de Calabre au tout début de la décennie 1970. Le programme a abouti à la constitution de vergers à graines de l'État impliquant l'INRA, Irstea (tous deux aujourd'hui réunis au sein d'INRAE), l'ONF et le GIE⁴ Vilmorin-Versepuy. Les critères d'amélioration retenus étaient alors l'adaptation au milieu, la vigueur, la forme (branchaison, fourchaison, rectitude) et la densité du bois.

Les boisements ou reboisements à base de pin laricio s'effectuent ainsi aujourd'hui en France

principalement à partir des variétés forestières améliorées (VFA) issues des trois vergers à graines d'État créés entre 1976 et 1984 (Pierangelo *et al.*, 2017). Ces vergers résultent d'un long processus de sélection initiale de peuplements puis « d'arbres plus » présentant un phénotype remarquable et d'évaluation de ces arbres et de leur descendance au sein de multiples dispositifs expérimentaux dédiés.

Dans le cadre du projet Dolar⁵ (Perret *et al.*, 2019), nous avons ainsi profité de l'existence de ces réseaux expérimentaux pour étudier l'impact de l'origine génétique des pins laricio sur leur sensibilité à la maladie des bandes rouges. Douze sites différents, répartis dans plusieurs régions (Centre-Val de Loire, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur) ont permis d'explorer les différents niveaux d'organisation de la diversité génétique (variété Corse ou Calabre, provenance, descendance, clone), évaluant près de 3 000 arbres et 115 unités génétiques différentes (Tableau 1).

Cet article présente les principaux enseignements de cette étude, avec un focus particulier sur les VFA actuellement produites dans les vergers à graines français.

La méthodologie de travail est présentée dans l'article p. 20 *Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts*, de Michel Chartier, de ce dossier de Forêt-entreprise.

¹ INRAE, Unité de recherches Ecosystèmes Forestiers (UR EFNO), Nogent-sur-Vernisson, France.

² INRAE, Unité de recherches Écologie des Forêts Méditerranéennes (URFM), Avignon, France.

³ Variétés Forestières Améliorées

⁴ Groupement d'intérêt économique

⁵ Voir article p. 20, *Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts*

Tableau 1 – Caractéristiques des sites expérimentaux utilisés

Types de sites	Identifiant	Essences/Variétés	Localisation	Année d'installation	Nombre d'unités génétiques étudiées	Nombre d'arbres étudiés
Verger à graines	PLO-VG-001 Sologne-Vayrières-VG	Corse – Centre	Lavercantière – Vayrières (46)	1976 à 1980	19 familles	339
Verger à graines	PLO-VG-002 Corse-Haute-Serre-VG	Corse – Île de beauté	Lavercantière – Haute-Serre (46)	1982-1983	15 familles	300
Verger à graines	PLA-VG-002 Les Barres-Sivens-VG	Calabre	Sivens (81)	1984	45 clones	445
Test d'évaluation des VFA issues des vergers	PL03.1	Corse et Calabre	Nogent-sur-Vernisson (Les Barres 45)	2002	6 VFA	139
Test d'évaluation des VFA issues des vergers	PL03.3	Corse et Calabre	Sainte-Montaine (18)	2002	6 VFA	198
Test homologue de descendance	n° 2-429-1	Corse – Île de beauté	Orléans (45)	1977	15 familles	257
Test homologue de descendance	n° 2-426-3	Corse – Centre	Le Picard (33)	1981	17 familles	
Test homologue de descendance	n° 2-428-1	Corse – Centre	Orléans (45)	1977	12 familles	
Test homologue de descendance	n° 2-426-2	Corse – Centre	Orléans (45)	1979	6 familles	
Test de provenances	n° 1-429-2	<i>Pinus nigra</i> (dont <i>laricio</i> – Corse et Calabre)	Cestas (Rousset - 33)	1974	27 provenances	258
Test de provenances	n° 1-428-1	<i>Pinus nigra</i> (dont <i>laricio</i> – Corse et Calabre)	Orléans (45)	1973	16 provenances	336
Test de provenances	n° 1-429-3	<i>Pinus nigra</i> (dont <i>laricio</i> – Corse et Calabre)	Chateaneuf de Chabres (Pomet - 05)	1973	15 provenances (3 en <i>laricio</i>)	384

Existe-t-il une différence de sensibilité à la maladie des bandes rouges entre les VFA issues des trois vergers à graines de pin *laricio* de Corse et de Calabre ?

Les variétés commerciales produites dans les vergers à graines de pin *laricio* de Corse ont été en partie évaluées dans deux séries d'essais installés en 1993 et 1997. En 2002, une nouvelle série de quatre essais d'évaluation de lots commerciaux issus des vergers a été installée, incluant cette fois, dans les mêmes conditions environnementales, les productions des trois vergers à graines de *laricio* : Corse « Sologne-Vayrières » (Lavercantière, 46),

Corse « Île de Beauté » (Haute-Serre, 46) et Calabre (Sivens, 81).

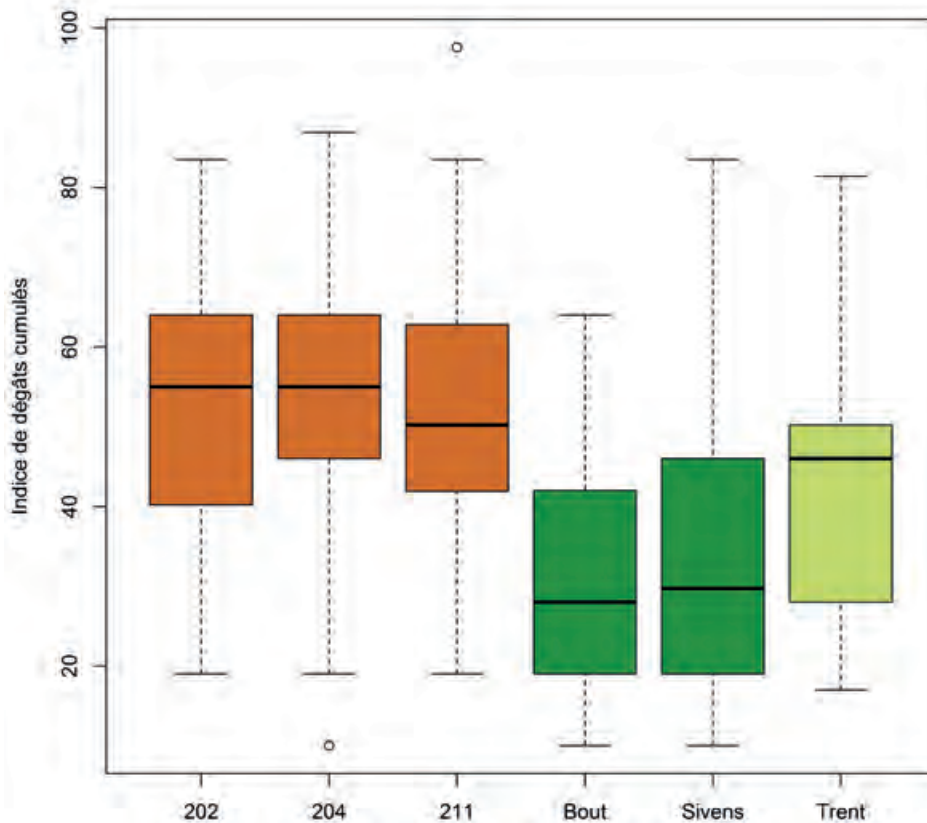
Dans chacun des deux sites d'évaluation que nous avons pu exploiter (Les Barres et Sainte-Montaine, tableau 1), les pins *laricio* provenant des vergers à graines de variété Corse présentent des symptômes de la maladie des bandes rouges plus marqués que les pins *laricio* issus du verger à graines de variété Calabre (Figure 1). Ces derniers sont en outre significativement plus gros en diamètre que les Corses et présentent des accroissements en diamètre plus élevés. S'il existe bien une corrélation entre vigueur des arbres et sensibilité à la maladie des bandes rouges⁶, les analyses conduites en tenant compte de la dimension

⁶ Cet aspect sera développé dans l'article p. 42, *Maladie des bandes rouges : le pin laricio souffre mais ne rompt pas !*

Figure 1 – Proportion de dégâts sur les houppiers sur 6 parcelles

La proportion de dégâts du houppier fonctionnel est plus importante pour les VFA issues des vergers de pin laricio de Corse (deux parcelles différentes [202 et 204] du verger Sologne-Vayrières et une parcelle [211] du verger Île-de-beauté en brun) que pour les VFA des vergers de pin laricio de Calabre (en vert foncé, ancien verger à graines de Bout et verger de Sivens) ou le témoin Trentacoste (Calabre, provenance du sud de l'Italie, en vert clair).

Mesures réalisées dans les deux tests d'évaluation des VFA, respectivement sur 139 et 198 arbres.



des arbres, mettent clairement en évidence l'effet de l'origine génétique. **Les VFA issues du verger de pin laricio de Calabre de Sivens sont donc moins sensibles à la maladie des bandes rouges que les VFA issues des deux vergers de pin laricio de Corse installés dans le Lot** (Figure 1). Les VFA issues des deux vergers de pin laricio de Corse ne montrent par contre pas de différence significative entre elles sur ce critère sanitaire. Le groupe témoin utilisé dans ces tests, la provenance Trentacoste de pin laricio de Calabre, se classe à un niveau intermédiaire entre les vergers à graines de pins laricio de Corse et de Calabre.

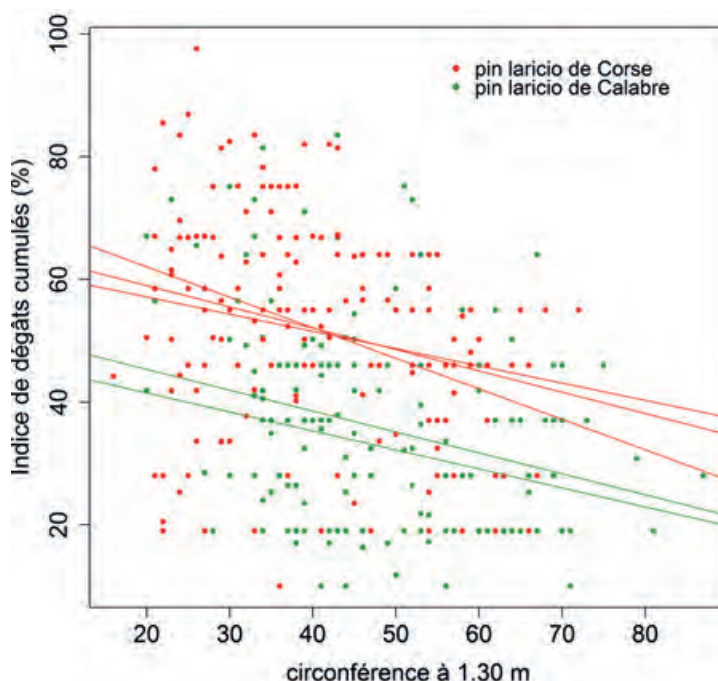
Avec une forte variabilité entre les arbres

Une grande partie de la variabilité de la sensibilité à la maladie des bandes rouges se situe entre individus. Ainsi, le facteur étudié dans notre étude, l'origine génétique,

n'explique qu'une faible proportion des variations observées entre les arbres que ce soit au niveau variété (pin laricio de Corse ou pin laricio de Calabre), massif d'origine (regroupement de provenances en grands secteurs géographiques), provenance (forêt d'origine), descendance (l'arbre-mère est identifié, les descendants constituent une famille de demi-frères) ou encore clone. Mais nous ne rentrerons pas dans le détail de ces différents résultats.

Dans les deux sites comparant les VFA de pin laricio, on observe ainsi une grande dispersion des niveaux de dégâts observés. La variabilité conduit à trouver des arbres provenant des deux vergers de variété Corse présentant moins de symptômes de la maladie des bandes rouges que des pins laricio issus du verger de Calabre, même si en moyenne les VFA de Calabre sont moins atteints par la maladie des bandes rouges (Figure 2).

Figure 2 – Niveau moyen de dégâts par circonférence



Si les courbes de tendance illustrent bien un niveau moyen de dégâts plus faible pour les VFA de pin laricio de Calabre (Sivens et Bout en vert) que pour les VFA de pin laricio de Corse (3 VFA correspondant à 3 parcelles différentes de vergers, en rouge), la part de variabilité au niveau arbre est prépondérante. Chaque point représente un individu mesuré dans l'un ou l'autre des 2 tests d'évaluation des VFA.

Qu'en est-il à l'échelle des composants des vergers ?

Les composants de chacun des vergers ont fait l'objet d'une évaluation de la sensibilité à la maladie des bandes rouges basée sur la notation de l'état sanitaire des arbres présents dans les vergers et les tests de descendances homologues, afin de déterminer s'il est envisageable ou non d'améliorer génétiquement la résistance du verger en pariant sur l'héritabilité du caractère de sensibilité.

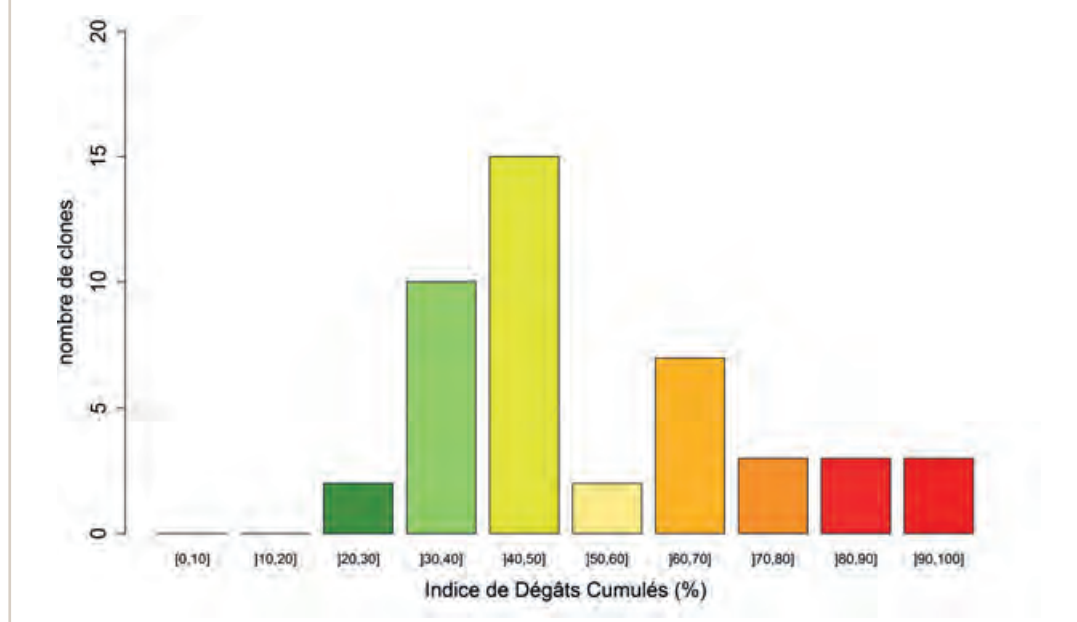
Les deux vergers de pin laricio de Corse sont composés de familles de demi-frères (graines issues de la même mère et de pères inconnus, supposés tous différents). Les notations de dégâts effectuées sur une sélection des familles les plus représentées au sein de chaque verger (15 familles pour l'origine Île-de-beauté et 18 familles pour l'origine Sologne-Vayrières) n'ont permis de discriminer, au sein de chaque verger, qu'un faible nombre de familles : seules les familles extrêmes présentant des indices de dégâts⁷ les plus diamétralement opposés apparaissent significativement différentes.

Ainsi, la grande majorité des familles ne diffère pas significativement les unes des autres. On observe néanmoins une relative stabilité de classement des familles d'origine Île-de-beauté dans les deux sites analysés (verger et test de descendances homologues), lorsque les niveaux de symptômes sont conséquents. Les classements concernant le verger de pin laricio de Corse d'origine Sologne-Vayrières apparaissent par contre particulièrement instables d'un site à l'autre (verger et tests de descendances homologues associés).

Contrairement aux vergers de pin laricio de Corse, le verger de pin laricio de Calabre de Sivens est constitué de clones. La sensibilité à la maladie des bandes rouges a été observée en 2015 et en 2017 sur les 45 clones du verger les plus représentés : elle s'avère très variable selon les clones (Figure 3). Les différences clonales sont significatives pour l'ensemble des types de symptômes (déficit foliaire et coloration rouge anormale), et la maladie impacte négativement la croissance des arbres. Sur ces 45 clones, une dizaine apparaît ainsi nettement plus sensible.

⁷ Indice de dégâts cumulés, voir article p. 20, *Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts*

Figure 3 – Répartition des 45 clones du verger à graines de pin laricio de Calabre de Sivens selon l'Indice de Dégâts Cumulés du houppier fonctionnel.



Ces différences de sensibilité entre VFA issues des vergers relèvent-elles d'une différence générale entre le pin laricio de Corse et le pin laricio de Calabre ?

Nous avons pu évaluer les symptômes de la maladie des bandes rouges dans deux dispositifs expérimentaux anciens installés par l'INRA (test n° 1-429-2 (33) et n° 1-428-1 (45), tableau 1) comparant dans les mêmes conditions pédoclimatiques les deux variétés Corse et Calabre. Ces tests de provenances comportent un grand nombre d'unités génétiques directement issues de Corse et de Calabre. Les résultats obtenus sont contrastés selon les dispositifs. Au sein de chacune des variétés, la variabilité est très importante et ainsi le classement des provenances s'effectue indépendamment de son appartenance à l'une ou l'autre des variétés. De plus, lorsque l'on compare les résultats analysés site par site, on constate que le classement des provenances est particulièrement instable. D'après ces résultats, il n'est donc pas possible d'affirmer aujourd'hui que l'un des deux pins laricio s'avère plus (ou moins) sensible à la maladie des bandes rouges que l'autre pin laricio au niveau des populations naturelles.

La forte variabilité intra-variété ainsi que la faiblesse des différences que nous constatons

entre les deux variétés Corse et Calabre trouvent sans doute leur explication dans l'histoire évolutive du pin noir, *Pinus nigra* Arnold. À l'échelle de son aire de répartition, large et discontinue, le pin noir démontre qu'il est capable de s'adapter à une grande diversité de types de sol et de conditions topographiques ou altitudinales, de même qu'à une grande diversité de climats. Historiquement, plusieurs sous-espèces géographiques ont été décrites, mais la taxonomie de l'espèce est toujours considérée comme non résolue. Ainsi, coexistent différents référentiels taxonomiques, qui recensent et reconnaissent respectivement entre 2 et 8 sous-espèces.

L'étude de phylogéographie de Giovannelli (2017 ; Scotti-Saintagne *et al.*, 2019) montre que la diversité actuelle de *Pinus nigra* et sa faible structure génétique spatiale résultent de la fragmentation récente, au Pléistocène supérieur ou à l'Holocène inférieur, d'un seul groupe génétique ancestral en six groupes génétiques modernes, distincts. Le flux de gènes entre les différents groupes génétiques modernes est important et explique les mélanges génétiques observés dans de nombreuses populations actuelles. Il ressort de cette étude que les pins laricio de Corse et de Calabre appartiennent au même groupe génétique.



La 2^e génération de pin laricio de Calabre des Barres, âgée de 160 ans en 2018

Sandrine Perret © INRAE

Comment interpréter alors les différences obtenues entre les VFA issues des vergers à graines ?

Si les processus de sélection mis en œuvre pour constituer les vergers à graines ont été sensiblement les mêmes, de fortes divergences existent sur les populations d'amélioration choisies au départ du programme d'amélioration génétique.

Dans le cas du pin laricio de Corse, deux populations d'amélioration distinctes ont été constituées : l'une à partir d'arbres-plus sélectionnés en peuplements naturels dans 4 forêts de Corse, et l'autre à partir d'arbres-plus sélectionnés dans 17 peuplements artificiels, repérés en Sologne et en Île-de-France. On peut supposer que ces peuplements sélectionnés en France continentale ont probablement une origine proche, du fait de l'approvisionnement difficile en graines à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle. Ceci pourrait expliquer qu'on relève encore moins de différences entre les différentes familles de demi-frères d'origine Sologne-Vayrières qu'entre celles provenant de Corse – Île de Beauté.

Dans le cas du pin laricio de Calabre, le programme d'amélioration a reposé sur une population artificielle du Domaine des Barres (Loiret). Le verger de pin laricio de Calabre de Sivens est ainsi issu de cette provenance artificielle des Barres introduite par Philippe-André de Vilmorin (voir En savoir +). Philippe-André de Vilmorin agissant en précurseur de

l'étude génétique des pins, on peut émettre l'hypothèse que le processus de sélection a débuté dès cette époque, et à partir d'une origine Calabraise de qualité exceptionnelle, ce qui pourrait expliquer que cette provenance se distingue particulièrement des autres.

Vers une meilleure connaissance de l'origine génétique du verger à graines de Sivens

Si l'origine Calabraise de la population artificielle des Barres n'est pas remise en question, c'est le brassage génétique probable sur le Domaine des Barres avec des peuplements voisins de pins noirs (pin laricio de Corse et pin noir de Pallas notamment) qui conduit à s'interroger sur la pureté spécifique de ce verger.

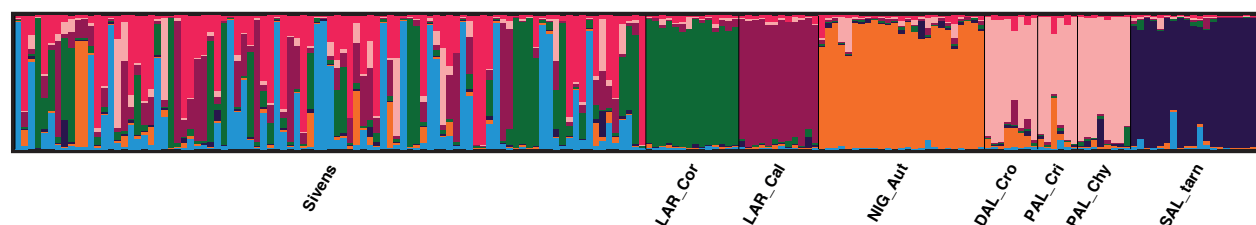
Le génotypage de l'ensemble des clones présents dans le verger a donc été entrepris dans le cadre du projet Dolar en 2019. Les 95 individus échantillonnés, correspondant aux 95 clones encore présents, ont été génotypés et chaque individu a pu ensuite être associé de façon probabiliste à des populations d'arbres prises comme référence et issues de la base de données d'INRAE. Les arbres de référence utilisés sont des pins laricio de Corse (Restonica [Forêt communale de Corte] et Valdo-Niello), des pins laricio de Calabre (Aspromonte), des pins de Salzmann des gorges du Tarn, des pins noirs d'Autriche (Autriche), des pins noirs de Pallas (Crimée, Chypre) et des pins noirs de la côte dalmate (Croatie).

L'analyse de la structuration du verger à graines de Sivens confirme que l'hybridation entre sous-espèces de pins noirs est bien possible. Si 75 % des clones du verger de Sivens sont bien des pins laricio, les 25 % restants sont effectivement des arbres hybrides entre pin laricio et différents autres pins noirs : des laricio et des nigra pour 10,5 %, des laricio et des dalmatica-pallasiana pour 13,6 %, ou encore des laricio et des Salzman dans 1 % des cas (Figure 4).

Au sein des 75 % classés dans le groupe laricio, les marqueurs génétiques

permettent d'identifier quatre provenances : Corse, Aspromonte (en Calabre), et deux provenances inconnues qui étaient absentes de la base de données externe des arbres de référence d'INRAE. La proximité génétique entre Aspromonte et les deux provenances inconnues semble indiquer une origine Calabraise de ces deux provenances. L'analyse montre ainsi que les 75 % de pins laricio qui composent le verger de Sivens sont un mélange de provenances de Calabre et de Corse (31 % sont classés en Calabre, 14 % en Corse et 55 % en hybrides Corse-Calabre).

Figure 4 – Répartition des pins noirs du verger à graines de Sivens selon 7 groupes génétiques (détails de l'analyse dans le rapport d'expertise du projet Dolar, S. Perret *et al.*, 2019).



Les 95 premières barres (à gauche) correspondent à chacun des clones du verger de Sivens : leur couleur est définie en fonction de leur proximité avec les groupes génétiques de référence, figurés dans la moitié droite du graphique. Deux provenances génétiques de Sivens sont absentes des groupes de références (bleu clair et fuchsia).

L'hybridation du verger à graines de Sivens pourrait-elle expliquer la moindre sensibilité des VFA issues de ce verger à la maladie des bandes rouges ?

Sur le sous-échantillon des 45 clones observés pour la maladie des bandes rouges, et identifiés taxonomiquement par génotypage, nous pouvons montrer que la croissance moyenne en circonférence des clones appartenant à la sous-espèce laricio (35 clones) entre 2015 et 2017 est significativement plus importante que la croissance moyenne des clones introgressés par d'autres espèces (laricio/nigra [4 clones] ou laricio/dalmatica-pallasiana [6 clones]). Ces différences d'accroissement peuvent être reliées au niveau de dégâts de la maladie des bandes rouges observés en 2015. Les arbres introgressés sont ainsi légèrement plus atteints que les laricio (différence marginale seulement), et cette différence est principalement due aux hybrides laricio/dalmatica-pallasiana (pas de différence entre les laricio et les hybrides laricio-nigra). Cependant, lorsque l'information sur l'origine des laricio est prise en compte (Calabre, Corse ou Corse-Calabre), le test

ne révèle plus de différence significative entre les provenances vis-à-vis de la maladie des bandes rouges. Le faible nombre de clones classés dans certaines origines (Corse, ou hybrides) appellent donc à une interprétation prudente.

Vers une amélioration des vergers sur le critère de sensibilité à la maladie des bandes rouges ?

Les résultats présentés précédemment peuvent orienter les gestionnaires des vergers et les améliorateurs vers des choix pour faire évoluer la composition des vergers. Les études d'héritabilité du caractère de résistance à la maladie des bandes rouges sont encourageantes, révélant par exemple des niveaux d'héritabilité modérés pour le pin radiata en Australie ou en Nouvelle-Zélande, (0.20 à 0.34, Kennedy *et al.*, 2014) et des niveaux élevés pour le pin sylvestre au Royaume-Uni (0.38 à 0.75, Perry *et al.*, 2016). Dans le cas d'une sélection génétique sur ce trait, les impacts sur d'autres caractères comme la vigueur ou la survie sont jugés plutôt favorables.

Ainsi, dans le verger à graines de pin laricio de Calabre de Sivens, une moindre sensibilité

à la maladie des bandes rouges pourra être recherchée en éliminant les clones les moins résistants. Une éclaircie génétique pourrait ainsi viser à extraire en priorité les clones introgressés qui se sont révélés les plus attaqués. Dans les autres vergers (pin laricio de Corse), un génotypage systématique des familles semble opportun pour détecter les possibles hybridations. Dans les vergers de pin laricio de Corse, la faiblesse des écarts obtenus et l'absence de stabilité entre sites (test de descendances) conduit à être vigilants. La suppression des familles les plus atteintes ne permettra sans doute pas d'améliorer sensiblement la résistance.

Par ailleurs, qu'il s'agisse des vergers de pin laricio de Corse ou de pin laricio de Calabre, la stratégie inverse qui consisterait à sélectionner uniquement les familles les moins sensibles, est à bannir : elle pourrait conduire à un appauvrissement important de la diversité génétique des plantations de pins laricio alors que les capacités d'adaptation d'une espèce dans un environnement changeant reposent pour beaucoup sur sa diversité, génétique et phénotypique (Perry *et al.*, 2016). Le résultat serait ainsi sans doute plus dommageable que l'amélioration escomptée.

Il est important également de prendre en compte un second pathogène foliaire susceptible de causer des dommages importants au pin laricio. *Diplodia sapinea*, autrement connu sous l'appellation Sphaeropsis du pin, est effectivement un champignon endogène du pin laricio, ce qui signifie qu'il est naturellement présent dans les peuplements sans toutefois poser de problèmes en conditions normales. L'apparition de conditions de stress intense, telle une sécheresse par exemple, ou des blessures multiples, causées par un orage de grêle, peuvent déclencher l'infection et entraîner des mortalités graves voire massives. L'incidence de *Diplodia sapinea* est de ce fait bien plus grave que celle de *Dothistroma sp.* La décision de la suppression de certaines unités génétiques (familles ou clones) dans les vergers devrait ainsi nécessairement tenir compte de leur sensibilité à ces deux pathogènes d'importance afin d'éviter de réduire la résistance à l'un des pathogènes en cherchant à améliorer la résistance à l'autre pathogène.

Le pin laricio de Calabre du verger de Sivens moins sensible

La dernière génération de tests d'évaluation des VFA issues des vergers à graines de pin laricio a permis de montrer que la variété de pin laricio de Calabre issue du verger de clones de Sivens (code MFR : PLA-VG-002 Les Barres-Sivens-VG) est moins sensible à la maladie des

bandes rouges que les variétés de pin laricio de Corse produites dans les vergers d'origine France continentale (PLO-VG-001 Sologne-Vayrières-VG) ou Île-de-beauté (PLO-VG-002 Corse-Haute-Serre-VG). Ce résultat reste vrai malgré la présence, aujourd'hui démontrée par génotypage, de clones hybrides issus de mélanges de variétés de pins noirs dans le verger à graines de Sivens.

La place relative accordée à cette ressource dans les opérations de boisement-reboisement mérite ainsi d'être revue. Alors que le pin laricio de Calabre a jusqu'à présent plutôt été réservé aux conditions écologiques les plus difficiles, réputées peu favorables au pin laricio de Corse (engorgement et/ou carbonatation), l'utilisation des VFA issues du verger à graines de Sivens pourrait aussi être envisagée dans les conditions plus favorables au développement de la maladie, ou plus simplement être considérée au même titre que les VFA de pin laricio de Corse.

Il est néanmoins exclu de remplacer partout le pin laricio de Corse par du pin laricio de Calabre. Plus que jamais, les particularités des deux variétés doivent être prises en compte. Il faut en particulier rester vigilant du fait des risques de dommages causés par *Diplodia sapinea*, le Sphaeropsis des pins, dont la prévalence pourrait être plus forte chez le pin laricio de Calabre (à moins qu'il ne s'agisse d'un effet de répartition géographique actuelle des deux variétés, ce qui mériterait d'être étudié plus en détail).

Les différences de sensibilité à la maladie des bandes rouges mises en évidence entre les VFA issues des vergers à graines ne sont pas généralisables à l'ensemble des ressources génétiques du pin laricio. Les résultats ne signifient effectivement pas que le pin laricio de Calabre (toutes provenances du sud de l'Italie confondues) soit supérieur au pin laricio de Corse (toutes provenances de l'Île-de-Beauté ou de France continentale confondues). Il existe une grande variabilité individuelle pour le critère de sensibilité à la maladie des bandes rouges, ainsi qu'une grande variabilité au sein des aires d'origine, mais la structuration génétique de la sensibilité à la maladie des bandes rouges reste faible ou difficilement détectable. Les différentes analyses conduites à partir des dispositifs comparant ces multiples provenances n'ont ainsi pas permis de discriminer globalement le pin laricio de Corse et le pin laricio de Calabre, de même qu'elles n'ont pas permis de discriminer des provenances ou des massifs des aires d'origine respectives.

Travail de sélections bénéfiques dans le verger à graines de Sivens

Les meilleurs résultats obtenus avec les VFA du verger à graines de Sivens sont, à ce titre, remarquables. Ils soulignent vraisemblablement l'historique de sélection exceptionnel opéré depuis 1819 pour construire la population artificielle dite des Barres puis établir en 1984 le verger à graines d'État de Sivens, productif depuis 1999.

Si quelques pistes sont envisageables pour améliorer la résistance du pin laricio à la maladie des bandes rouges, telles des éclaircies génétiques dans les vergers à graines ou l'exclusion des arbres symptomatiques lors des récoltes de graines, de nombreuses questions restent ouvertes et pourraient faire l'objet de recherches ultérieures, sur l'héritabilité par exemple du trait de sensibilité à la maladie des bandes rouges, ce qui permettrait d'évaluer la pertinence de nouveaux travaux de sélection génétique pour lutter contre la maladie des bandes rouges et de concevoir une nouvelle génération de vergers à graines de pin laricio.

Une vigilance accrue doit également être portée à la commercialisation des graines et plants, afin de limiter les risques de contamination et d'émergence de nouvelles souches de champignons par recombinaisons génétiques. Les lots de graines doivent ainsi être parfaitement nettoyés, les débris d'aiguilles constituant un vecteur de la maladie des bandes rouges alors que les graines elles-mêmes ne sont pas vectrices.

Enfin, l'utilisation d'autres ressources génétiques que le pin laricio devrait être envisagée. Ainsi, le pin de Salzmann apparaît bien plus résistant à la maladie des bandes rouges que le pin laricio ou le pin noir d'Autriche (Giovannelli, 2017). Un compromis vigueur/rectitude/résistance reste à trouver et à adapter selon les régions d'implantation des projets de boisements, Giovannelli (2017) montrant aussi une grande variabilité génétique et une grande plasticité de la croissance radiale chez le pin noir. ■

En savoir ⁺

Des pins laricio de Calabre des Barres au verger à graines de l'État de Sivens
PDF de l'article disponible sur ce lien : <https://bit.ly/3nw4n8x>

Bibliographie

- Giovannelli G., 2017. Histoire évolutive et diversité adaptative du pin noir, *Pinus nigra* Arn., à l'échelle de son aire de répartition. Thèse de doctorat en sciences, Aix-Marseille Université. <http://www.theses.fr/2017AIXM0089>
- Kennedy S.G., Yanchuk A.D., Stackpole D.J., Jefferson P.A., 2014. Incorporating non-key traits in selecting the *Pinus radiata* production population. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 44:12, <http://www.nzforestryscience.com/content/44/1/12>
- Perret S. *et al.*, 2019. Adaptation de la sylviculture du pin laricio en France dans le contexte de la maladie des bandes rouges : Quels sont les déterminants de la vulnérabilité du pin laricio à la maladie des bandes rouges ? Rapport final du projet Dolar. 144 p. <https://hal.inrae.fr/hal-03336070>
- Perry A., Wachowiak W., Brown A.V., Ennos R.A., Cottrell J.E. & Cavers S., 2016. Substantial heritable variation for susceptibility to *Dothistroma septosporum* within populations of native British Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Plant Pathology*, 65, 987-996.
- Pierangelo A., Fady B., Matz S., Perret S., 2017. Conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction : pin laricio de Corse, pin laricio de Calabre. Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation. Version du 11/10/2017 : <https://bit.ly/3vPnNpW>
- Scotti-Saintagne C., Giovannelli G., Scotti I., Roig A., Spanu I., Vendramin G.G., Guibal F., Fady B., 2019. Recent, late-Pleistocene fragmentation shaped the phylogeographic structure of the European black pine (*Pinus nigra* Arnold). *Tree Genetics & Genomes*, 15:76, <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1381-2>.

Résumé

La sensibilité du pin laricio à la maladie des bandes rouges a été analysée dans différents réseaux de dispositifs génétiques en France. Le niveau arbre explique une part prépondérante de la variabilité. Ainsi, il n'est pas possible de départager le pin laricio de Corse du pin laricio de Calabre, toutes origines confondues. Néanmoins, la VFA de pin laricio de Calabre produite dans le verger à graines de Sivens situé dans le Tarn s'avère moins sensible à cette maladie que les VFA produites dans les vergers de pin laricio de Corse. Le niveau d'hybridation du verger de Sivens a pu être quantifié. Poursuivre et raisonner l'utilisation de provenances Corse et Calabre est recommandé dans un souci d'adaptation aux contextes locaux.

Maladie des bandes rouges : le pin laricio souffre mais ne rompt pas !



Par Sandrine Perret¹, Jordan Bello², Michel Chartier³, Christian Ginisty¹, Céline Meredieu⁴, Ingrid Seynave⁵

¹ INRAE, UR EFNO, Nogent-sur-Vernisson, France. ² ONF, pôle RDI, Boigny-sur-Bionne, France. ³ CNPF-IDF, Orléans, France. ⁴ INRAE, BIOGECO, Cestas, France. ⁵ INRAE, UMR SILVA, Nancy, France

L'investissement de longue date des organismes forestiers de recherche et de développement dans l'installation et le suivi de réseaux d'expérimentation sylvicole, comme le GIS Coopérative des données sur la croissance des peuplements forestiers, permet d'étudier le lien entre sylviculture et maladie des bandes rouges sur un large panel de dispositifs de pins laricio en France. C'est une occasion d'analyser en détail variabilité des dégâts, mortalité et croissance, et d'évaluer les actions possibles du sylviculteur dans la lutte contre la maladie.

¹ Voir article p. 20, *Dolar : un programme pour mieux comprendre la maladie et ses impacts*

² Voir article p. 50, *Évolution de la maladie des bandes rouges sur pin laricio en France : bilan de 6 années de suivi*

Les nombreux travaux de recherche conduits en France sur le pin laricio depuis les années 1970 ont largement amélioré notre connaissance de l'essence, et conforté tout l'intérêt de ses capacités productives et des qualités technologiques de son bois pour la mise en valeur des milieux pauvres.

Mais qu'en est-il aujourd'hui dans ce contexte nouveau et violent de maladie des bandes rouges ? À quel point sa croissance est-elle affectée ? Pour combien de temps ? Et est-il possible de réduire l'impact de cette maladie en appliquant une gestion adaptée aux peuplements ?

L'un des objectifs du projet Dolar¹ (Perret *et al.*, 2019) a été de chercher à répondre à ces différentes interrogations.

Un vaste échantillon d'arbres mesurés

48 placettes de densités contrastées, issues de 17 dispositifs d'expérimentation sylvicole existants ont été sélectionnés (voir présentation dans l'article p. 20). Au total, 1 190 arbres répartis dans ces 48 placettes ont été suivis (Tableau 1) par les correspondants-observateurs du Département de la santé des forêts (DSF) pendant trois années consécutives, du printemps 2015 au printemps 2017 (voir protocole dans l'article p. 20).

Tableau 1 – Gamme de densité des peuplements et de dimensions des arbres pour les 48 placettes sélectionnées dans 17 dispositifs d'expérimentation sylvicole

	Moyenne	Étendue : min – max
Âge	38,8	15 – 49
Nombre d'arbres par ha	780	92 – 2 264
Surface terrière (m ² /ha)	32,8	8,0 – 70,9
Facteur d'espacement (%)	26,7	11,4 – 59,3
Hauteur dominante (m)	19,1	8,8 – 24,3
Diamètre dominant (cm)	33,1	15,8 – 48,4
Nombre d'arbres sélectionnés par dispositif		50 – 82
Nombre d'arbres sélectionnés par placette		16 – 29
Diamètre à 1,30 m (cm)	27	4 – 54

L'état sanitaire des arbres évolue au fil des années

Au printemps 2015, le niveau général de dommages liés à la maladie des bandes rouges était élevé, avec un déficit foliaire moyen de 40 % et plus de 15 % de coloration rouge anormale dans le houppier fonctionnel : l'Indice de dégâts cumulés (IDC, voir mode de calcul p. 20), correspondant à la proportion totale de houppier perdue comparativement à un arbre de référence sain, atteignait ainsi 47,1 % en moyenne pour l'ensemble des arbres suivis.

L'état des houppiers s'est en moyenne amélioré au cours des deux campagnes de notations suivantes, ce qui correspond bien à l'évolution globale de la maladie révélée à l'échelle nationale par l'étude du DSF².

Une forte variabilité de la sensibilité à la maladie entre dispositifs

La variabilité des dégâts entre dispositifs est importante (Figure 1), et ce quelle que soit l'année d'observation de la maladie. Au printemps 2015, sur les 17 dispositifs, deux situations extrêmes sont rencontrées : 2 dispositifs sont presque indemnes (80 % des arbres sont sains, c'est-à-dire ont un IDC < 20 %) alors que 7 présentent un état sanitaire très inquiétant (aucun arbre sain, et entre 60 et 87 % des arbres atteints à très atteints, c'est-à-dire avec un IDC > 50 %).

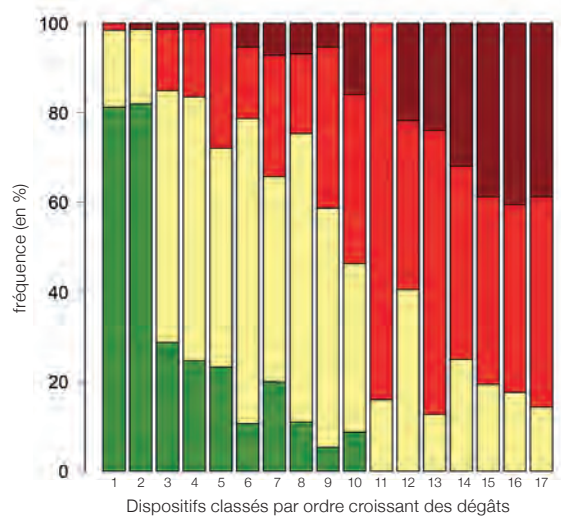
La variabilité des dégâts s'exprime aussi à l'intérieur du peuplement

Quel que soit le symptôme analysé (déficit foliaire, coloration rouge ou IDC), la sévérité des dégâts au sein du peuplement est très variable. Ainsi, au printemps 2015, les valeurs du déficit foliaire des 1 190 arbres s'échelonnent de 10 % à 95 % du houppier fonctionnel. De plus, la majorité (plus de 60 %) de cette variabilité ne peut être expliquée. Ainsi, deux arbres de positions sociales identiques dans un même peuplement peuvent présenter des niveaux de symptômes très différents. Mais quels facteurs expliquent en partie cette variabilité ?

Le statut social de l'arbre est le 1^{er} facteur expliquant le niveau de sensibilité à la maladie des bandes rouges

Parmi tous les facteurs testés, la position sociale de l'arbre au sein du peuplement (exprimée relativement à l'arbre de surface terrière moyenne), explique la plus grande part de

Figure 1 – Répartition des arbres selon leur classe d'Indice de dégâts cumulés (IDC) dans chaque dispositif observé au printemps 2015



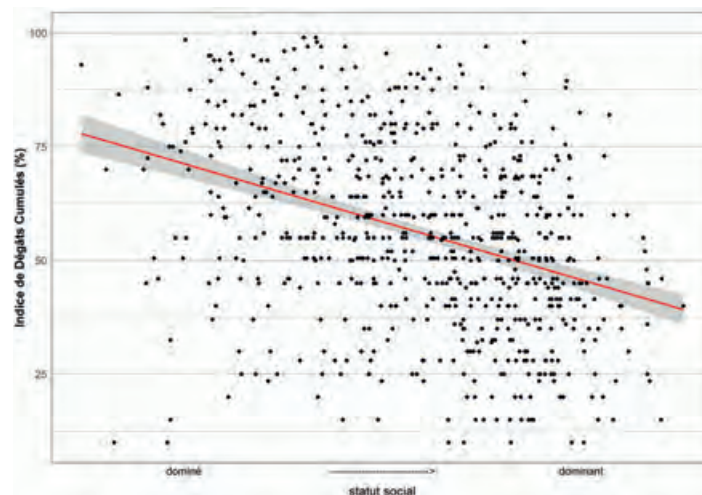
En vert : arbres sains (0 à 20 % d'IDC)

En jaune : arbres peu atteints (20 à 50 % d'IDC)

En rouge : arbres atteints (50 à 75 % d'IDC)

En marron : arbres très atteints (plus de 75 % d'IDC)

Figure 2 – Indice de dégâts cumulés en fonction du statut social des arbres en 2015

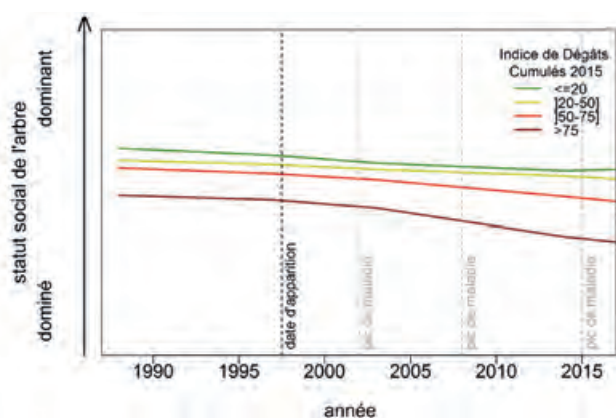


Les points noirs représentent chacun des arbres mesurés (pin laricio de Corse). En rouge, la droite ajustée sur les points. En gris, son intervalle de confiance.

La sévérité des dégâts est d'autant plus faible que le statut social est plus favorable, mais la variabilité individuelle est extrêmement marquée.

variabilité. L'intensité des symptômes diminue pour les arbres de meilleur statut social (Figure 2). Cependant, la part de variabilité expliquée reste faible, illustrant le très fort effet individuel. Il faut donc interpréter ce résultat comme une tendance : en moyenne, les arbres les plus gros sont moins atteints, mais des

Figure 3 – Évolution du statut social moyen depuis 1990 selon l'Indice de dégâts cumulés des arbres au printemps 2015



Le statut social d'un arbre, de dominé à dominant, correspond à sa position dans l'ordre croissant des circonférences. Les lignes verticales noires et grises figurent respectivement l'arrivée et les pics de signalement successifs de la maladie des bandes rouges.

La hiérarchie sociale au sein des peuplements évolue peu : les arbres fortement atteints par la maladie (en rouge et marron) occupaient déjà des positions sociales inférieures avant l'apparition de la maladie des bandes rouges au milieu des années 1990.



Symptômes marqués de la maladie des bandes rouges sur des pins laricio de Corse en Forêt Domaniale d'Orléans

Sandrine Perret © INRAE

arbres gros au sein du peuplement peuvent aussi être très atteints tout comme il est moins probable qu'un dominé ne soit pas atteint. Mais la sévérité des symptômes résulte-t-elle de la position sociale défavorable des arbres au sein du peuplement ? Ou les arbres ont-ils acquis une position défavorable du fait d'atteintes sévères et répétées de la maladie des bandes rouges au cours du temps, qui auraient freiné leur croissance comparative à celle des arbres voisins ?

Perte de croissance et position sociale des arbres dans le peuplement

Travailler à partir de dispositifs expérimentaux anciens permet de retracer l'évolution de chaque arbre au cours du temps. On constate ainsi que la hiérarchie sociale au sein du peuplement a peu évolué dans le temps (Figure 3). On peut donc avancer que la maladie n'est pas à l'origine de la position sociale des arbres dans le peuplement et ne provoque pas de bouleversement important dans la hiérarchie sociale des arbres. Par contre, il est clair qu'elle touche préférentiellement ou plus sévèrement les arbres en situation sociale plus défavorable, pour lesquels elle entraîne une régression permettant aux **arbres plus dominants de maintenir et améliorer leur avantage.**

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour expliquer ce résultat. D'une part, et c'est un argument fréquent dans la littérature, on peut imaginer que le feuillage des arbres plus petits dont le houppier s'interpénètre plus avec celui des arbres voisins, est plus exposé aux projections de gouttelettes infectées lors des épisodes pluvieux (effet de splash entre houppiers) : il s'agit là d'un mode de dispersion des champignons vecteurs de la maladie des bandes rouges déjà constaté. D'un autre côté, ces arbres plus petits peuvent être exposés à un micro-climat légèrement différent des arbres plus grands, qui pourrait s'avérer plus favorable au développement de l'infection. C'est une hypothèse intéressante à étudier (voir l'encadré sur les variations du micro-climat p. 48). Enfin, il s'agit peut-être d'un effet strict de la vigueur de l'arbre : les arbres les plus vigoureux se défendraient mieux contre l'infection.

Les symptômes de la maladie des bandes rouges peuvent être impressionnants, notam-

ment les années de forte infection (voir photo ci-contre), avec des colorations rouges et des déficits foliaires très forts. C'est la partie la plus visible de la maladie. Mais quelles sont les conséquences sur la croissance des arbres et du peuplement ?

L'accroissement radial des arbres est fortement réduit

De 2015 à 2017, l'accroissement radial est en moyenne de 1,75 mm par an pour l'ensemble des arbres suivis, et varie fortement selon la densité du peuplement (pour l'arbre moyen, diminution de 0,5 mm par tranche de 10 points de facteur d'espacement) et le statut social de l'arbre (en peuplement moyennement dense, l'arbre dominant grossit plus de deux fois plus vite que l'arbre moyen).

Mais l'intensité des dégâts de la maladie impacte également très fortement la croissance radiale : elle perd en moyenne 0,3 mm par tranche de 10 points d'Indice de dégâts cumulés (Figure 4). L'accroissement individuel de l'arbre moyen est ainsi réduit de 50 % pour un IDC de 50 %. En l'absence de maladie, l'accroissement radial de l'arbre moyen serait de 3,07 mm. Il n'atteint plus que 1,55 mm pour un IDC de 50 % (Figure 4).

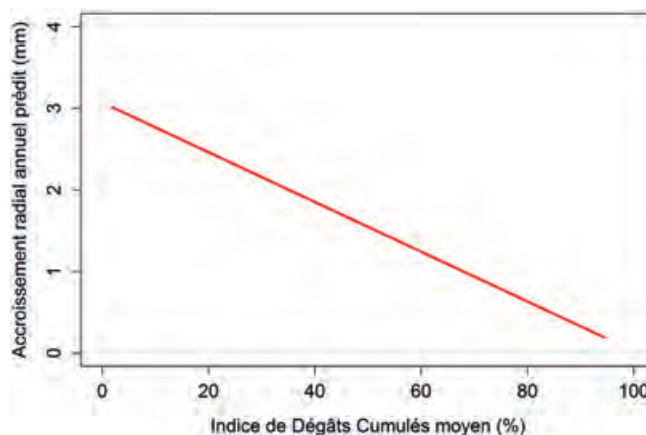
La productivité est affaiblie

Le niveau de dégâts moyen à l'échelle de la placette a été estimé à partir des 25 arbres notés pendant les 3 années consécutives, en tenant compte de la distribution des tiges dans les différentes classes de circonférence du peuplement.

Nous avons mis en évidence 3 facteurs expliquant le niveau de dégâts à l'échelle du peuplement : l'indice de fertilité, avec moins de dégâts pour les fertilités plus élevées, la variété de pin laricio, avec moins de dégâts dans les peuplements de pin laricio de Calabre et la densité du peuplement, avec un IDC plus faible dans les peuplements clairs : il est réduit de 3,9 % lorsque le facteur d'espacement augmente de 10 %.

Conformément aux modalités contrastées de sylviculture que nous avons cherché à représenter dans notre étude, les accroissements courants en surface terrière présentent une gamme très élargie, variant de 0,2 à 2,2 m²/ha/an en valeur brute, ou -1,70 à 2,2 m²/ha/an si la mortalité est soustraite (accroissement net).

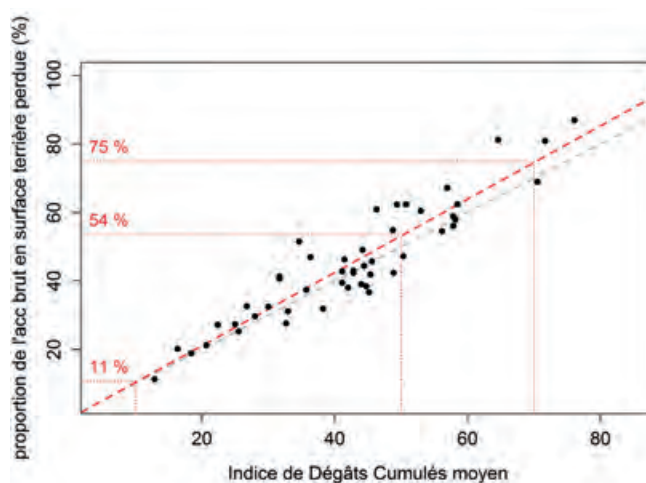
Figure 4 – Effet de l'Indice de dégâts cumulés (IDC - %) sur l'accroissement radial annuel



Valeurs issues de modélisation, intégrant par ailleurs les effets de 4 autres facteurs retenus (densité du peuplement, statut social de l'arbre, facteur climatique et facteur pédologique).

La proportion totale de dégâts dans le houppier fonctionnel diminue sévèrement la largeur de cerne.

Figure 5 – Proportion de l'accroissement en surface terrière non réalisée (estimée par modélisation, en tenant compte de la densité, du climat et du sol) en fonction de l'IDC calculé au niveau du peuplement



Les points représentent les 48 placettes mesurées sur la période. La droite en pointillés bleus représente la bissectrice, celle en pointillés rouges la régression linéaire sur l'ensemble des points.

La perte d'accroissement en surface terrière du peuplement est proportionnelle et à peu près équivalente à l'Indice de dégâts cumulés.

À l'échelle du peuplement, la maladie des bandes rouges provoque en moyenne des pertes de production en surface terrière proportionnelles et à peu près équivalentes à la proportion des dégâts du houppier estimée à l'échelle du peuplement : la proportion de l'accroissement brut en surface terrière non

réalisée du fait de la maladie dépasse ainsi légèrement 10 % de l'accroissement attendu en absence de maladie pour 10 % de dégâts. On atteint 75 % de perte pour 70 % de dégâts (Figure 5).

Mais la mortalité individuelle reste négligeable

Sur les trois années de suivi (2015 à 2017), 33 arbres sont morts parmi les 1 190 arbres échantillons, ce qui représente un taux annuel de mortalité de moins de 1 % (0,92 %).

On constate que la sévérité des dommages liés à la maladie des bandes rouges accroît significativement la probabilité de mortalité des arbres ; mais cet effet significatif sur la mortalité des pins laricio reste très modéré sur la période étudiée (Figure 6) et est modulé par deux autres facteurs :

1) la position sociale de l'arbre au sein du peuplement : plus le statut est favorable (arbre dominant), plus la probabilité de mortalité est faible ;

2) la densité du peuplement, avec un effet positif du facteur d'espacement : plus la densité est faible (à partir d'un facteur d'espacement supérieur à 21 %), plus la probabilité de mortalité des arbres est faible.

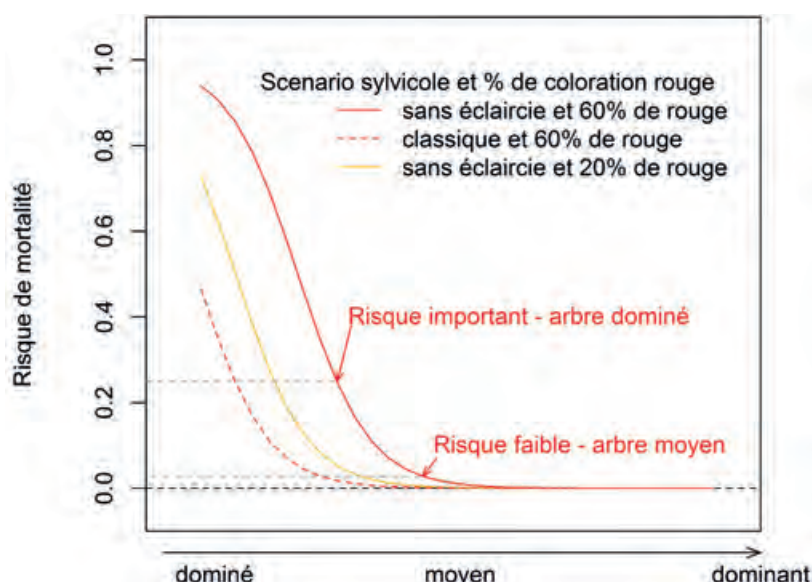
La densité du peuplement : double levier de prévention pour le gestionnaire

On pourrait comparer la gestion d'une forêt à un arbre de décision, dont chaque ramification engage différemment l'avenir de la parcelle. Les choix en matière de densité sont cruciaux.

Basée sur des réseaux expérimentant la densité des peuplements, notre étude a mis en évidence un impact fort du niveau de compétition au sein du peuplement sur la maladie des bandes rouges. Trois effets complémentaires peuvent être notés.

À l'échelle du peuplement tout d'abord, l'intensité des symptômes de la maladie des bandes rouges est d'autant plus importante que la

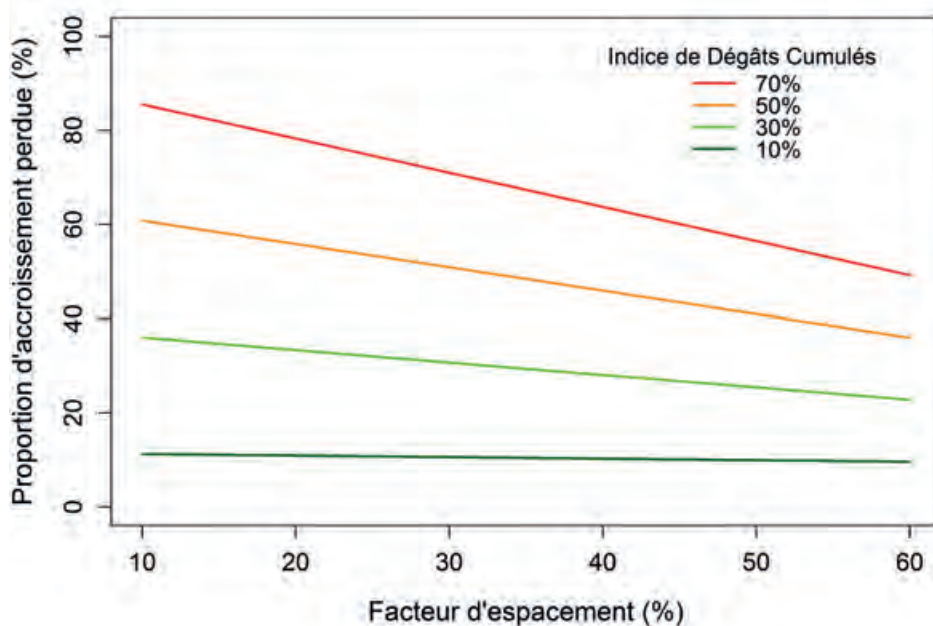
Figure 6 – Probabilité de mortalité (estimée par modélisation) en fonction du statut social de l'arbre pour trois exemples de scénarios sylvicoles combinés à une proportion de coloration rouge



Le scénario sans éclaircie correspond à un facteur d'espacement de 15 % et le scénario classique à un facteur d'espacement de 25 %. Le modèle de mortalité a été ajusté sur les arbres de l'échantillon ne présentant pas d'autres problèmes sanitaires que la maladie des bandes rouges.

En condition de forte infection, un scénario classique avec des éclaircies régulières, même modérées, permet de réduire fortement la probabilité de mortalité induite par la maladie des bandes rouges, comparativement à un scénario sans éclaircie dans ces mêmes conditions de coloration.

Figure 7 – Proportion d'accroissement en surface terrière non réalisée en fonction du facteur d'espacement (%) et de l'Indice de dégâts cumulés (%)



Appliquer une sylviculture plus claire permet de réduire la proportion des pertes d'accroissement en surface terrière, et ce d'autant plus que la sévérité de la maladie est importante.

densité globale du peuplement est forte : **une sylviculture maintenant un couvert plus clair permet donc de réduire la sévérité de la maladie.**

Appliquer une sylviculture plus dynamique, donnant plus d'espace à des arbres vigoureux, permet également de réduire les pertes d'accroissement pour un même niveau de symptômes, et ce d'autant plus que le niveau de sévérité de la maladie est important (Figure 7).

Enfin, sur la période de 3 ans que nous avons étudiée, la sévérité des dégâts liés à la maladie des bandes rouges augmente de façon significative la probabilité de mortalité des arbres. Mais le risque accru (et inquiétant) de mortalité ne concerne heureusement que des arbres dominés au sein de peuplements de densité élevée. **Les risques de mortalité restent insignifiants pour les arbres non dominés et pour les peuplements bénéficiant d'une sylviculture avec des éclaircies régulières.**

L'application d'une sylviculture dynamique présente donc le triple avantage de réduire l'intensité des symptômes de la maladie, les pertes de production (pour un niveau de maladie donné) résultant de la diminution de l'accroissement

des arbres, et les risques de mortalité. Le gestionnaire forestier dispose donc là d'un véritable levier d'action pour limiter l'impact de la maladie des bandes rouges.

Conclusion

Certains pourraient être tentés de juger catastrophique l'impact de la maladie des bandes rouges sur la croissance du pin laricio, qu'on l'observe à l'échelle de l'arbre ou à l'échelle du peuplement. Or, malgré une forte pression de la maladie depuis les années 2000, force est de constater que la survie du pin laricio reste bonne en France. Ce constat est d'autant plus rassurant que l'application d'une sylviculture dynamique, avec des éclaircies exploitées régulièrement, permet de réduire l'intensité des symptômes et les pertes de production.

Si l'on se souvient que le pin laricio, en tant que sous-espèce de pin noir, figure parmi les essences résineuses les plus résistantes à la sécheresse, alors il mérite qu'on lui garde encore toute notre attention en France malgré l'apparition et la diffusion de la maladie des bandes rouges.

Dans le contexte actuel toujours plus problématique (émergence de bioagresseurs et

Les variations du microclimat au sein du couvert forestier, une possible interprétation de la répartition des dégâts de la maladie des bandes rouges ?

Par Marc Saudreau¹, Camille Couteau², Sandrine Perret², Pascal Walser¹

¹ INRAE, UMR PIAF, Clermont-Ferrand. ² INRAE, UR EFNO, Nogent-sur-Vernisson

En collaboration avec l'UMR PIAF (INRAE Clermont-Ferrand), l'un des dispositifs sylvicoles les plus jeunes étudiés dans le projet Dolar a été équipé de nombreux capteurs (photos ci-dessous) afin de suivre les conditions microclimatiques dans la partie fonctionnelle des houppiers de pin laricio. Deux modalités sylvicoles ont été instrumentées : peuplement clair planté à 830 t/ha *versus* peuplement dense planté à 2 500 t/ha. La durée d'humectation, la température et l'hygrométrie ont été mesurées toutes les 10-15 minutes de mars à décembre 2018 sur 20 arbres (10 arbres par modalité sylvicole, 4 capteurs par arbre) couvrant la gamme des positions sociales au sein du peuplement : de dominé à dominant. Au niveau des arbres dominants, le rayonnement solaire a également été mesuré. Une station météo de référence installée en plein découvert complétait le dispositif.

Les premières analyses n'ont permis de déceler que des différences de durée d'humectation dues à la rosée et de rayonnement entre les deux modalités sylvicoles. Logiquement les conditions du peuplement clair, plus aéré, induisent une durée d'humectation de 30 % plus importante (refroidissement nocturne par perte d'énergie infra-rouge plus intense) et un rayonnement transmis 14 % plus important que le peuplement dense sur des données moyennées par quinzaine. Toutefois, ces données microclimatiques par type de peuplements ne révèlent pas de corrélation avec le niveau d'infection par la maladie des bandes rouges, suggérant une absence de lien entre microclimat local et infection.

Il reste néanmoins à analyser les données plus finement : valeurs extrêmes de température ou d'hygrométrie, périodes de durées différentes et en lien avec différents seuils d'intérêt concernant le cycle de *Dothistroma* sp avant de conclure à l'absence de lien entre microclimat dans le houppier et répartition des dégâts entre les arbres du peuplement.

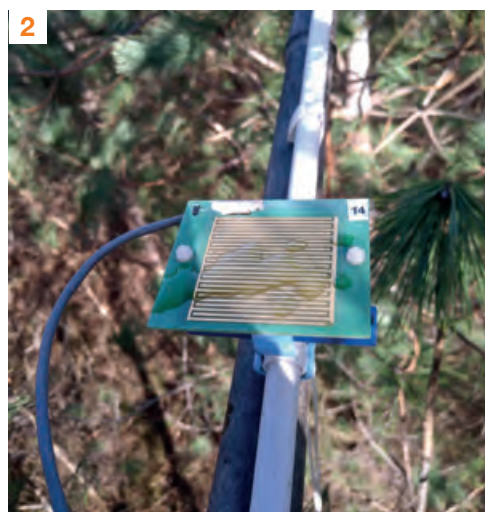


1) Mise en place des matériels de mesures microclimatiques dans les pins laricio du dispositif expérimental (GIS Coop) installé en forêt domaniale de Lamotte-Beuvron (Sandrine Perret © INRAE)

2) Peigne d'humectation (Camille Couteau © INRAE)

3) Capteur PAR (PAR/CBE 80, Solems, France) sur son support auto-nivelant fixé sur mât (Camille Couteau © INRAE)

4) Centrale d'acquisition dans boîtier étanche (Pascal Walser © INRAE)



aggravation de la crise climatique), il convient d'adopter les meilleures pratiques limitant le risque de diffusion ou de brassage des agents pathogènes et favorisant au mieux la capacité de résistance des peuplements en place. Dans ce sens, le respect de la réglementation sanitaire en vigueur s'avère impératif. L'introduction de nouvelles souches des champignons du genre *Dothistroma* risquerait de faire évoluer plus rapidement ces agents infectieux, augmentant la probabilité de voir émerger des formes plus virulentes de la maladie. De même l'introduction accidentelle de nouveaux bioagresseurs pourrait être extrêmement préjudiciable dans un contexte où l'essence est déjà fragilisée par la maladie des bandes rouges. Ainsi, il vaut mieux renoncer à l'exécution d'un projet de plantation si la qualité sanitaire des plants paraît douteuse.

Les résultats établis dans le cadre du projet Dolar s'appuient sur une courte période de suivi (2015 à 2017). Cette période débute 15 ans après l'émergence de la maladie (Piou *et al.*, 2015) et juste après le pic épidémiologique de 2012-2014 diagnostiqué par le DSF à l'échelle régionale. Nos résultats intègrent donc sans doute un effet chronique de la maladie, sans que

l'on puisse le caractériser précisément. Plusieurs centaines d'arbres sélectionnés parmi les 1 190 suivis dans l'étude ont été carottés à cœur au début de l'année 2019 afin de permettre l'analyse des largeurs de cernes sur une plus longue période (voir encart dendrochronologie en ligne). Ces nouvelles données, encore en cours d'analyse, nous permettront d'évaluer plus précisément les effets à plus long terme des attaques récurrentes de la maladie des bandes rouges.

Les différents résultats présentés ici nous montrent toute la richesse que constituent les réseaux expérimentaux de sylviculture suivis sur le long terme comme celui du GIS Coopérative des données sur la croissance des peuplements forestiers (voir encart p. 20). Dans un contexte combinant l'aggravation des conditions climatiques, l'émergence de nouveaux bioagresseurs et l'accroissement des besoins en bois pour la transition écologique, la poursuite des investissements consacrés à la mise en place, au suivi et au renouvellement de ces réseaux expérimentaux est primordiale. ■

En savoir⁺

La dendrochronologie pour mieux analyser les effets à long terme de la maladie des bandes rouges sur la croissance

PDF de l'article disponible sur ce lien : <https://bit.ly/3nw4n8x>

Bibliographie

- Perret S. *et al.*, 2019. Adaptation de la sylviculture du pin laricio en France dans le contexte de la maladie des bandes rouges : Quels sont les déterminants de la vulnérabilité du pin laricio à la maladie des bandes rouges ? Rapport final du projet Dolar, 144 p. <https://hal.inrae.fr/hal-03336070>
- Piou D., Saintonge F.-X., Marçais B., 2015. Quel avenir pour le pin laricio face à la maladie des bandes rouges ? *Forêt-entreprise*, 224, 10-17.

Résumé

L'impact de la maladie des bandes rouges sur la mortalité et la croissance a été suivi pendant 3 ans dans un réseau d'expérimentation sylvicole. L'étude montre que la mortalité est très faible mais que la croissance est fortement réduite, proportionnellement aux niveaux de dégâts dans les houppiers causés par la maladie. Elle montre également qu'en gérant les peuplements de manière dynamique, on limite les symptômes de la maladie et donc la perte de production.

Évolution de la maladie des bandes rouges sur pin laricio en France : bilan de 6 années de suivi



Par Claude Husson¹, Morgane Goudet¹, Gilbert Douzon², Jérôme Gaudry², Jérôme Rosa³, François-Xavier Saintonge¹

Le projet Dolar a focalisé ses études sur les régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire. Mais la maladie des bandes rouges affecte-t-elle les pins laricio uniformément en France ? Des placettes ont été installées dans de jeunes plantations de pins laricio pour suivre l'évolution de la maladie sur le territoire national durant 6 années, et en mesurer son impact.

¹ Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation – DGAL – Département de la santé des forêts, F-75015 Paris, France

² Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation – DRAAF – Département de la santé des forêts, pôle Nord-Ouest, F-45042 Orléans

³ Centre national de la propriété forestière, délégation Île-de-France – Centre-Val de Loire, F-18230 Saint-Doulchard

La maladie des bandes rouges du pin causée par *Dothistroma* sp. a émergé en France au début des années 1990 dans le sud-ouest de la France et dans le piémont pyrénéen. Elle s'est globalement intensifiée au fil du temps partout en France quelques années après l'installation importante du pin laricio dans le grand quart nord-ouest de la France, durant la seconde moitié du XX^e siècle. En effet, le pin laricio (de Corse et de Calabre) est l'essence la plus sensible à *Dothistroma* sp. en France. Dès lors s'est posée la question de l'impact de la maladie dans les plantations de pin laricio à l'échelle du territoire national. Pour y répondre, une enquête nationale a été déployée sur une durée de 6 années.

Échantillonnage de plantations

De 2015 à 2020, le Département de la santé des forêts (DSF) a mis en place au niveau national une enquête spécifique dans des plantations de pin laricio dont l'objectif était de déterminer la répartition de la maladie des bandes rouges, de suivre son évolution pluriannuelle et d'estimer son impact sur la croissance. 77 placettes de pin laricio localisées dans son aire d'introduction et composées chacune de 30 arbres d'avenir sub-adultes ou adultes d'un diamètre supérieur à 10 cm, soit environ 2 300 arbres, ont été notées chaque année (déficit foliaire, coloration anormale des aiguilles, mortalité de branches, circonférence à 130 cm et hauteur). La notation a eu lieu de février à mai (majoritairement en mars-avril), période la plus propice à l'expression des symptômes. Environ 80 % des arbres étaient du pin laricio de Corse, 10 % de Calabre et 10 % à provenance non déterminée. Le déficit

foliaire a été estimé dans le houppier fonctionnel (à la lumière et non soumis aux effets de concurrence) en pourcentage par classes de 5 % ainsi que la coloration anormale (rougissement des aiguilles) dans cette même zone par classes de 10 %. Par ailleurs, des critères de topographie (crête, versant, cuvette, vallée, zone plane) et de confinement sylvicole (élagage, présence d'un sous-étage) ont été relevés pour chaque placette. Le cas échéant, d'autres problèmes sanitaires biotiques ou abiotiques pouvant affecter le houppier ont été mentionnés dont les principaux étaient le sphaeropsis et la processionnaire du pin.

Évolution de l'état sanitaire

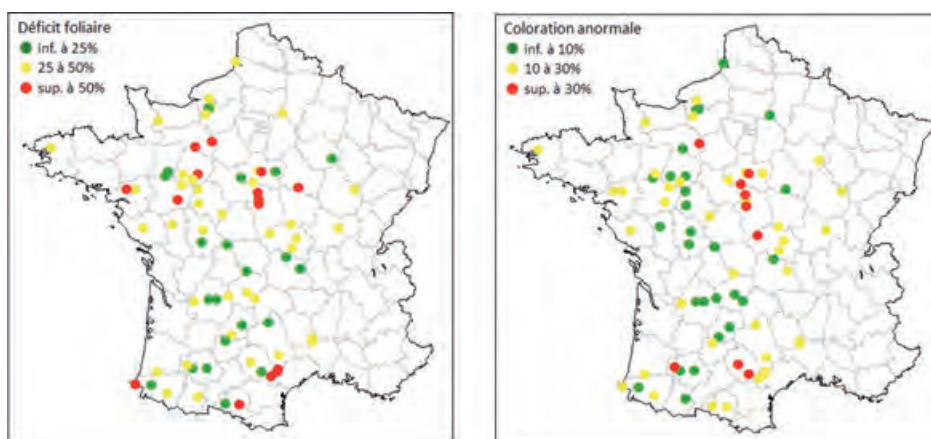
L'année 2015, première année de la mise en place du réseau de placettes, a été particulièrement marquée par l'intensité des dommages et figure, avec 2014, parmi les années de référence en termes de sévérité de la maladie. De nombreux arbres présentaient un déficit foliaire supérieur à 50 % dans les régions Centre-Val de Loire, Pays de la Loire et au sud de la Nouvelle-Aquitaine et de l'Occitanie (Figure 1).

Dès lors, les années suivantes ont permis de comprendre comment a évolué l'état sanitaire du pin laricio après une forte épidémie ayant engendré une crise sanitaire majeure⁴. En moyenne, sur le territoire national, le déficit foliaire moyen des trois années 2015-2017 et des trois années suivantes 2018-2020 a été stable. De façon intéressante, l'état sanitaire s'est même amélioré dans 40 % des plantations des régions Centre-Val de Loire et Pays de la Loire, là où l'avenir du pin laricio semblait remis en cause (Figure 2).

⁴ Brunier L., Delpont F., Gauquelin X., 2020, *Guide de gestion des crises sanitaires en forêt*, 2^e édition. Éditions CNPF-IDF, 184 p.

Figure 1 – Intensité des dommages en 2015 : déficit foliaire (à gauche) et coloration anormale (à droite)

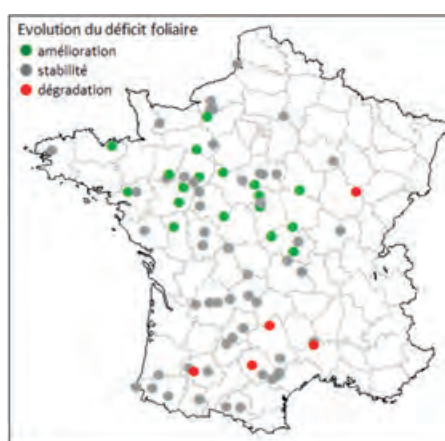
Déficit foliaire
 ● inférieur à 25 %
 ● 25 à 50 %
 ● supérieur à 50 %



Le déficit foliaire moyen des années 2015 à 2020 montre que toutes les régions peuvent être impactées par la maladie des bandes rouges avec des pertes d'aiguilles marquées, mais très généralement inférieures à 50 %. En effet, 80 % des arbres ont un déficit foliaire moyen de moins de 50 %, dont 30 % d'arbres avec un déficit de moins de 25 %. Les plantations situées en Montagne noire, piémont pyrénéen et pays basque sont les plus affectées (Figure 3). Par ailleurs, le taux de mortalité annuel a été de 0,2 % (au total, 24 morts sur 2 310 arbres notés de 2015 à 2020). L'enquête révèle donc que les attaques répétées de la maladie des bandes rouges n'entraînent aucune surmortalité, y compris dans les zones les plus touchées. De plus, seuls 2 % des arbres présentaient une mortalité de branches dans le houppier fonctionnel supérieur à 20 %, traduisant l'absence d'impact du pathogène sur les organes pérennes. Par conséquent, bien que très sensible, le pin laricio montre une tolérance assez élevée envers le pathogène *Dothistroma sp.* Par ailleurs, il n'a pas été possible de montrer un effet de la topographie ou du confinement sylvicole sur les dommages occasionnés sur les arbres.

Figure 2 – Évolution du déficit foliaire moyen entre les périodes 2015-2017 et 2018-2020

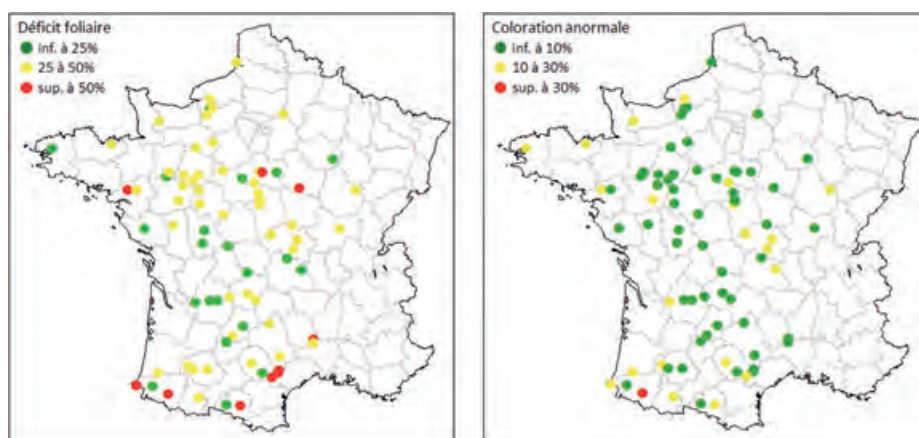
Évolution du déficit foliaire
 ● amélioration
 ● stabilité
 ● dégradation



Enfin, et compte-tenu de l'échantillonnage en pin laricio de Corse et de Calabre, l'enquête ne permet pas d'apporter d'éléments sur la vulnérabilité de ces deux essences envers la maladie des bandes rouges (voir article p. 33). La notation de la coloration anormale (rougissement) dans le houppier n'apporte pas d'éléments utiles pour discriminer les plantations. Elle est assez homogène dans tout le territoire (Figure 3).

Figure 3 – Déficit foliaire moyen (à gauche) et coloration anormale (à droite) sur la période 2015-2020

Déficit foliaire
 ● inférieur à 25 %
 ● 25 à 50 %
 ● supérieur à 50 %

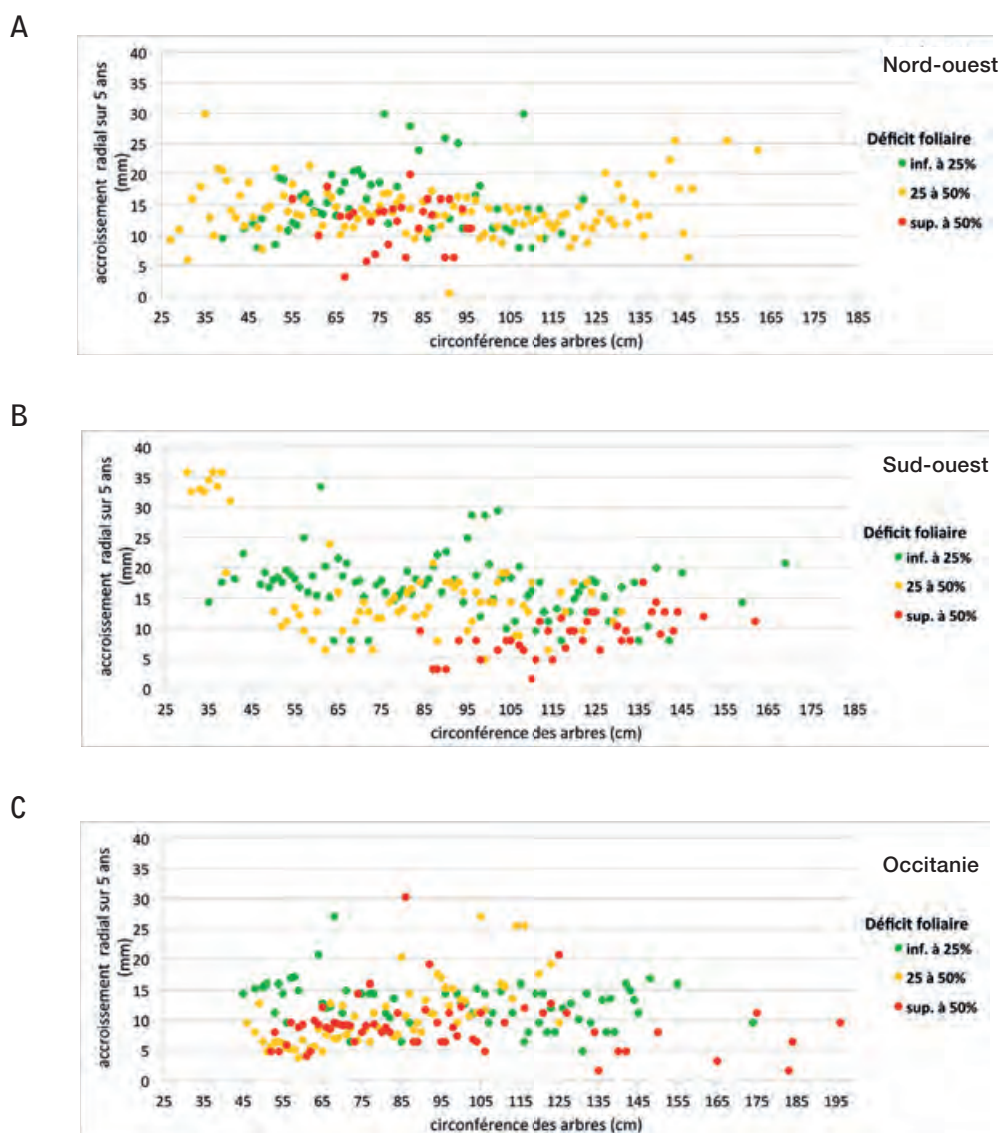


Impact sur la croissance

L'impact de la maladie des bandes rouges sur la croissance constitue un des enjeux majeurs pour l'avenir du pin laricio en plantation. L'accroissement radial des arbres cumulé sur 5 ans (ir5) a été estimé sur la base des mesures de circonférence de 2015 à 2020 dans les régions où les effectifs en arbres étaient suffisants, à savoir le nord-ouest de la France (Centre-Val de Loire, Pays de la Loire, Bretagne, Île-de-France), le Sud-Ouest (Nouvelle-Aquitaine) et le Sud (Occitanie). En moyenne, c'est en Occitanie que la croissance du pin laricio est la plus faible. Dans cette région, le pin laricio n'est pas toujours installé dans les meilleures

conditions. Par ailleurs, l'enquête montre que le déficit foliaire a un impact significatif sur la croissance des arbres : la croissance est plus faible quand le déficit foliaire augmente. Cette corrélation est plus marquée dans les régions du Nord-Ouest et du Sud-Ouest où la croissance moyenne du pin laricio est assez élevée quand il est peu attaqué par la maladie (Figure 4). Sur l'ensemble de l'échantillonnage de l'enquête (arbres d'une circonférence de 27 à 196 cm), les arbres les plus affectés en 2015 (déficit foliaire supérieur à 50 %) ayant subi les sévères attaques des deux années précédentes ont eu une croissance réduite de 16 à 24 % par rapport aux arbres peu ou modérément affectés.

Figure 4 – Accroissement radial sur 5 ans (ir5, en mm) dans le nord-ouest de la France (A/en haut, 943 arbres), dans le Sud-Ouest (B/au centre, 441 arbres) et en région Occitanie (C/en bas, 516 arbres). Chaque point représente l'ir5 de 2015 à 2020 des arbres de la circonférence mesurée.

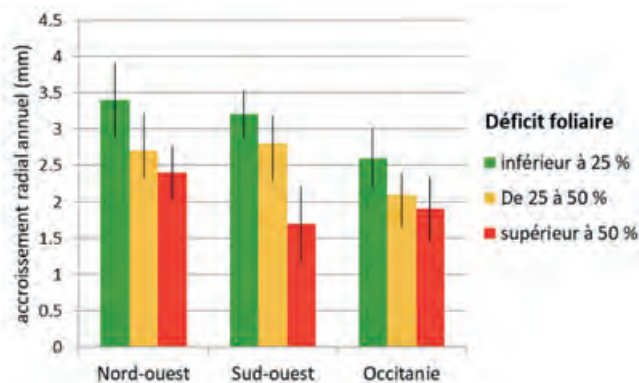


Pour comparer l'effet du déficit foliaire en fonction de la localisation géographique, les arbres de catégories petit bois et bois moyen ont été retenus. Pour les plantations du Nord-Ouest, la réduction de l'accroissement est de 21 % pour un déficit foliaire modéré (25-50 % du houppier fonctionnel) et de 30 % pour un déficit foliaire élevé (supérieur à 50 % du houppier). Dans le Sud-Ouest et le Sud de la France, la perte d'accroissement est respectivement de 12 % et 19 % pour un déficit foliaire modéré et de 45 % et 26 % pour un déficit foliaire élevé. Toutefois, la croissance des peuplements échantillonnés reste acceptable quel que soit le déficit foliaire observé, avec un accroissement radial annuel compris entre 2,1 et 3,4 mm par an pour la majorité des plantations. Seuls les peuplements les plus affectés du sud de la France présentent un accroissement inférieur à 2 mm par an (Figure 5). L'impact sur la croissance est ainsi particulièrement sévère dans le sud de la Nouvelle-Aquitaine (Pyrénées-Atlantiques), et plus globalement dans le piémont pyrénéen. À titre de comparaison, et dans la catégorie petit bois et bois moyen, l'accroissement radial du pin laricio dans les suivis de l'inventaire forestier national sur l'ensemble du territoire national est de 2 mm par an (source : IGN).

Conclusion

La maladie des bandes rouges est bien installée sur l'ensemble du territoire où le pin laricio a été introduit par plantation. Il est probable que les températures printanières élevées des 35 dernières années avec une pluviométrie globalement stable aient favorisé l'établissement de *Dothistroma sp.* et l'infection des pins. Les plantations de pin laricio ont été impactées, avec de nombreux arbres présentant un déficit foliaire supérieur à 25 % sur l'ensemble du territoire, déficit foliaire que l'on peut attribuer majoritairement à la maladie des bandes rouges sur les placettes enquêtées et non au sphaeropsis du pin, autre pathogène important du genre *Pinus*. Pour autant, et après les sévères attaques de 2013, 2014 et 2015, le pin laricio montre jusqu'à présent une bonne tolérance envers la maladie et une résilience tangible post-

Figure 5 – Accroissement radial annuel moyen (en mm) des arbres de catégories petit bois et bois moyen par grande région, et en fonction du déficit foliaire moyen 2015-2020 (la barre représente l'écart-type de l'échantillon).



crise sanitaire. En effet, l'état sanitaire des houppiers s'est stabilisé voire amélioré sur la période d'étude 2015-2020, montrant ainsi des capacités de rémission de l'hôte, sauf localement dans certaines plantations du sud de la France, dans les Pyrénées-Atlantiques. Par ailleurs, aucune mortalité de tiges imputable à la maladie des bandes rouges n'est à déplorer et la mortalité de branches est négligeable. Enfin, la croissance radiale est significativement affectée par les attaques répétées de *Dothistroma sp.*, notamment sur les arbres avec un déficit foliaire supérieur à 50 % du houppier dans la zone d'étude de l'enquête pour lesquels la réduction de croissance est de l'ordre de 20 à 45 %. Cependant, et compte-tenu des pics épidémiques de la maladie en 2014-2015 et des épisodes de sécheresse durant les années 2018 à 2020 dans certaines régions, la croissance reste convenable dans un contexte de production de bois de résineux. Même s'il convient d'être vigilant dans la sylviculture⁵, et hormis dans les Pyrénées-Atlantiques et localement au sud de l'Occitanie où les dégâts causés par *Dothistroma sp.* peuvent être très dommageables, les éléments apportés par l'enquête incitent aujourd'hui à garder le pin laricio parmi les essences à planter sur les stations propices dans le contexte de changement climatique. ■

⁵ Voir article p. 56, *Maintenant, comment gérer le pin laricio ?*

Résumé

L'inquiétude grandissante de l'avenir du pin laricio après les fortes attaques de la maladie des bandes rouges, notamment dans le Centre-Val de Loire, a amené le Département de la santé des forêts à évaluer la sévérité et l'impact de la maladie sur l'ensemble du territoire. Le suivi d'un réseau de 77 placettes de pin laricio notées de 2015 à 2020 montre des disparités spatiales de déficit foliaire. La croissance est significativement affectée notamment quand le déficit foliaire est supérieur à 50 %. Cependant, elle reste globalement convenable et aucune mortalité imputable à la maladie n'est signalée. Ces résultats confortent ceux du projet Dolar et incitent à maintenir le pin laricio, sauf dans le sud de la Nouvelle-Aquitaine et localement en Occitanie.

Mots-clés : impact, maladie des bandes rouges, pin laricio, croissance

Renouvellement nécessaire des vergers à graines de pin laricio



Entretien avec Gilles Bauchery, président des pépiniéristes forestiers
Propos recueillis par Michel Chartier et Nathalie Maréchal, CNPF-IDF

Une maladie sur une essence a des répercussions sur les projets de reboisements et donc les commandes de plants. Gilles Bauchery, président des pépiniéristes forestiers, explique leur démarche pour anticiper les demandes d'essences adaptées au climat futur.

Cette crise sur le pin laricio impacte les pépiniéristes. Comment sont perçues les maladies et comment sont anticipées les conséquences pour les demandes en plantation ?



G. Bauchery : Le pin Laricio a connu une période « faste » avec 7 millions de plants produits par an, il y a 25 ans en Sologne notamment. Environ 1 million par an s'est vendu en 2015. Avec la maladie des bandes rouges, la chute des ventes a été plus marquée en 2017-18, seulement 600 000 plants vendus, avec un report de la demande sur le pin sylvestre. Les dépérissements récents du pin sylvestre font de nouveau repartir les ventes de pins laricio : 860 000 plants cette dernière année. L'utilisation en alternative du pin laricio de Calabre, révélée par l'étude Dolar, n'est pas encore visible dans les ventes. Seulement 100 à 150 000 plants sont vendus par an, avec le risque du champignon foliaire *Diplodia pinea*, qui se développe par temps sec. La faible demande s'explique par sa moindre qualité de bois. Par contre, l'approvisionnement en graines pour le pin laricio de Calabre ne pose pas de souci.

Est-ce que la communication autour de la maladie influe sur les commandes de plants ?

G. B. : Les craintes des propriétaires et gestionnaires ont entraîné une baisse, mais pas un arrêt des plantations en pin laricio de Corse. Le manque de sylviculture est surtout impactant, ce qui est le cas en Sologne. À titre personnel, j'ai pu observer un continuum de contamination suivant les axes routiers sur des peuplements non éclaircis.

Comment les pépiniéristes préparent-ils la mise à disposition de nouveaux matériels forestiers de reproduction (MFR) ?

G. B. : Le syndicat des pépiniéristes a initié une réflexion importante sur le renouvellement des vergers à graines avec le ministère de l'Agriculture. Le parc des vergers à graines est ancien ; et rien n'a été fait depuis 15 ans pour le renouveler. Il est urgent de mettre en place un programme d'installation de nouveaux vergers à graines par un financement public, pérenne. L'approvisionnement en graines est inquiétant avec de nombreux manques ou difficultés pour certaines essences.

Les résultats de l'étude Dolar intéressent grandement les pépiniéristes forestiers. Les vergers de pin laricio de Corse¹ sont anciens ; faire une installation à l'identique de Sologne-Vayrières est possible. Recréer un verger de toute pièce est long, environ 15 à 20 ans pour la production de graines. Utiliser les connaissances passées pour « copier » est plus rapide.

Une concertation avec le ministère de l'Agriculture pour le renouvellement des vergers à graines par le Plan de relance est-il possible ?

G. B. : Le Comité technique permanent de la sélection (CTPS)² prépare un programme d'installation de nouveaux vergers à graines, financé par le Plan de relance pour des essences comme le douglas, le cèdre ou le mélèze. Par la suite, le Fonds stratégique pourrait prendre le relai et débloquer environ 400 000 € pour 20 vergers. La filière amont exprime ses besoins



¹ Deux vergers, situés dans le Lot, fournissent les semences : Sologne-Vayrières est constitué d'arbres « plus » sélectionnés pour leur croissance juvénile supérieure de 15 % par rapport aux peuplements initiaux ; Haute-Serre est constitué d'arbres « plus » corses, sélectionnés pour leur forme.

² Comité technique permanent de la sélection (CTPS) : en France, chaque nouvelle variété est inscrite par décision du ministre chargé de l'Agriculture et publiée au Journal officiel, après la consultation du CTPS.



Bandes de plants de pins laricio en pépinière

© Pépinières Bauchery

futurs, notamment d'essences plus sudistes, via France Bois Forêt. **Une stratégie sur 10 ans est nécessaire pour l'installation de vergers, avec une sélection de clones résistant à la sécheresse.**

Lors des concertations avec le ministère de l'Agriculture pour les reboisements impulsés par le Plan de relance, le syndicat des pépiniéristes a insisté sur la nécessité de mélange pour les plantations. Une diversification est recommandée avec l'introduction de feuillus notamment en bandes boisées, cela procure un effet « barrière » qui pourra limiter les propagations.

La demande de production des 50 millions de plants pour les reboisements du Plan de relance est possible pour les pépiniéristes. La difficulté sera davantage dans l'approvisionnement en

graines, notamment les essences plus sudistes demandées comme les sapins méditerranéens, *Abies cephalonica*, *Quercus frainetto* (chêne de Hongrie) ou le chêne pubescent, pour lesquels il n'y a pas de récolte de glands. Ensuite, 3 ou 4 ans se déroulent entre la récolte de la graine et la vente du plant.

Pour anticiper les besoins, nous privilégions les contrats de culture. Ce principe d'engagement qui vaudra commande pour fin 2023, est acté. Nous disposons d'une saison et demie pour augmenter la production. Il est vraiment essentiel de diversifier les essences et provenances pour maintenir tous les petits acteurs locaux. ■



Plant de pin laricio © Pépinières Bauchery

Le point de vue de Vilmorin, marchand grainier (Pierre Boutteaud)

La baisse des ventes s'est observée tout d'abord en Angleterre qui était la première à subir les effets de la maladie des bandes rouges. Une première baisse en France a été remarquée à partir de 2012. Le plus bas niveau a été observé en 2018 avec 40 kg. Depuis, les ventes remontent pour atteindre 50 kg en 2020.

Comment avez-vous perçu la communication autour de la maladie et l'impact sur le pin laricio ?

La communication dans ces moments est importante pour ne pas envoyer de signaux trop forts ou alarmistes.

Comment voyez-vous la production de graines dans les années à venir ?

Il est important que nous renouvelions le verger à graines de Sologne-Vayrières qui est vieillissant. C'est prévu à l'horizon 2024 en prenant en compte les résultats issus du programme Dolar.

La production de Calabre est limitée, car elle ne se base que sur le verger de Sivens. Potentiellement, et en fonction des retours des chercheurs, nous pourrions prévoir une récolte plus abondante.

Maintenant, comment gérer le pin laricio ?



Par Jérôme Rosa¹, Sandrine Perret², Jérôme Gaudry³, Michel Chartier⁴, Aurore Calas⁵

Les résultats du programme Dolar sont riches d'enseignement et aboutissent à des recommandations sylvicoles. Le pin laricio reste une essence d'avenir malgré le contexte de maladie des bandes rouges, il est conseillé de l'implanter à des niveaux de fertilité et réserve en eau plus élevés qu'auparavant, de diversifier les provenances et les essences et d'appliquer une sylviculture dynamique d'éclaircies au profit des plus vigoureux, ce qui est favorable à la croissance et à la résistance des arbres.

¹ CNPF-CRPF Centre-Val de Loire

² INRAE, Unité de recherche Écosystèmes Forestiers

³ Département de la santé des forêts (DSF)

⁴ Centre national de la propriété forestière – Institut pour le développement forestier (CNPF-IDF)

⁵ Office national des forêts – Recherche Développement et Innovation (ONF-RDI)

⁶ Riou-Nivert P.

(coordinateur), 2001.

Dossier : le pin laricio, du plant à la planche. *Forêt-entreprise* n° 137, p. 17-48.

Photos :

Jérôme Rosa © CNPF

Le pin laricio reste une essence d'avenir...

Avant les dernières fortes crises sanitaires causées par la maladie des bandes rouges, le pin laricio représentait sur de nombreuses stations **une solution pour adapter les forêts au changement climatique**⁶. La dégradation spectaculaire de l'aspect visuel des peuplements dans certaines régions a pu modifier cette vision. Le projet Dolar nous montre que l'on doit bien compter le pin laricio parmi les essences d'avenir dans de nombreuses régions françaises.

En effet, si elle impacte fortement la croissance, la maladie **ne cause que peu de mortalités** sous nos latitudes. Les seules mortalités engendrées par la maladie sur la

période de suivi des arbres concernent des tiges nettement dominées, qui auraient sans doute également dépéri à court ou moyen terme sans le pathogène.

Par ailleurs, les principaux facteurs conditionnant le développement de la maladie sont les conditions météorologiques annuelles. Cela explique que d'une année sur l'autre, le pathogène n'engendre pas le même niveau de dégâts, et signifie aussi qu'une année défavorable pour le champignon pourra permettre aux arbres impactés précédemment de **reconstituer leurs réserves et leurs houppiers**.

S'il est difficile de connaître quelle sera la récurrence future des années favorables à la maladie, on sait donc que la pluviométrie au printemps favorise le développement du champignon, alors que des conditions estivales sèches le réduit. Les modèles climatiques prédisent difficilement l'évolution de la pluviométrie, néanmoins l'augmentation des températures est avérée, et devrait donc être plutôt défavorable au champignon en période estivale en augmentant l'évapo-transpiration.

Les deux derniers étés secs ont clairement démontré ces conclusions, notamment en région Centre-Val de Loire. Les pins laricio, au déficit foliaire encore marqué par les fortes attaques passées, ont supporté les deux sécheresses exceptionnelles, souvent à côté de pins sylvestres qui aujourd'hui présentent des mortalités sur l'ensemble de la région.

Face aux prédictions de déficit hydrique plus marqué et plus fréquent en période de végétation, le pin laricio reste donc une solution viable.



Le pin laricio reste une essence d'avenir en région Centre-Val de Loire.

...plutôt dans une aire écologique affinée et en diversifiant les essences

Par contre, comme pour toutes les essences, le changement climatique et l'environnement biologique impactent son aire écologique, notamment au niveau de la réserve utile des sols. Il conviendra d'éviter les sols à trop faibles réserves utiles, au risque d'avoir des productions forestières trop limitées, voire quasi nulles lors de fortes attaques de la maladie. De la même manière, on évitera également les stations à trop faible fertilité (notamment déficience en azote), stations que le forestier a longtemps cru pouvoir valoriser avec le pin.

Le changement climatique et la maladie des bandes rouges **remontent donc le niveau d'exigence pour la fertilité et la réserve utile des sols**, d'autant plus que le climat local sera contraignant, et que la maladie sera installée.

Si l'impact des peuplements voisins sur la présence de la maladie n'a pu être démontré, les observations de terrain montrent que les massifs forestiers dans lesquels le pin laricio occupe d'importantes surfaces sont proportionnellement plus touchés que dans les forêts où les pins occupent peu de surfaces.

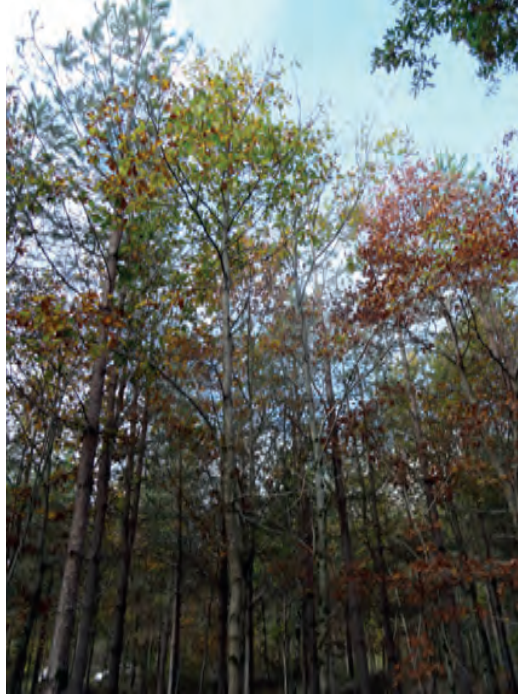
Ainsi, il est conseillé dans les massifs où le pin laricio est très présent, de **diversifier les essences** à l'occasion des prochains reboisements, ce qui permettra :

- ➡ de réduire la pression de l'inoculum, forcément proportionnelle à la présence de l'hôte favori,
- ➡ de réduire les surfaces impactées par les baisses de croissance les années de fortes maladies.

Cette diversification peut être faite à l'échelle du massif (plantations monospécifiques sur des surfaces unitaires inférieures à 5 ha ; espacement des parcelles), ou à l'échelle de la parcelle.

L'effet du mélange intime n'a pu être évalué, mais il serait intéressant de développer des itinéraires associant le pin laricio à d'autres essences non sensibles au pathogène (autre genre que *Pinus* donc), ces mélanges permettant dans certains cas de rendre les peuplements plus résistants et plus résilients aux aléas. Le mélange avec le cèdre serait par exemple intéressant à tester sur des sols filtrants profonds.

Dans les plantations pures, le maintien d'une certaine diversité est également possible en jouant



Mélange pin laricio-chêne sessile : des itinéraires de mélange à tester pour limiter les impacts de la maladie.

sur les densités de plantation couplées à des scénarios sylvicoles dynamiques, et en favorisant l'installation et le développement du recru ligneux.

Dans ces deux cas, la seconde essence introduite ou le recru ne doivent cependant pas venir concurrencer la croissance des pins laricio, dont la vigueur reste un gage de meilleure résistance à la maladie, ni entraîner une augmentation de l'hygrométrie au sein du peuplement, facteur favorisant le développement du pathogène.

Parmi les diversifications possibles, **l'utilisation plus importante de la variété Calabre** (issue du verger à graines de Sivens, PLA-VG-002 Les Barres-Sivens-VG), pour laquelle les résultats du projet Dolar sont plutôt encourageants, est une piste intéressante. Mais il faudra prendre en compte un autre risque, à savoir le champignon foliaire *Diplodia sapinea* (anciennement *Sphaeropsis sapinea*) auquel le pin laricio de Calabre semblerait plus sensible. Deuxième pathogène d'importance concernant le pin laricio, *Diplodia sapinea* peut provoquer des mortalités importantes. L'utilisation de la variété Calabre pourra donc être privilégiée dans les secteurs où le risque d'infection par la maladie des bandes rouges est plus élevé que le risque d'infection par *Diplodia sapinea*. À l'inverse, on évitera de l'utiliser dans les conditions favorisant *Diplodia sapinea*, à savoir une richesse chimique importante notamment en azote (on y préférera donc le pin laricio de Corse), en boisement de terres agricoles, et en zone de grêles fréquentes.

Le pin de Salzman, moins sensible d'après la bibliographie, pourrait aussi être plus largement utilisé, d'autant qu'il fait partie des pins autochtones de France. La baisse probable de production consécutive à l'utilisation du pin de

Salzmann, serait à évaluer selon les stations, en référence aux autres pins noirs.

Un matériel végétal à orienter vers une meilleure résistance

Différentes actions pourraient être menées dans les vergers à graines dans l'idée d'améliorer la résistance des pins laricio, même s'il subsiste de nombreuses incertitudes sur les gains espérés. Des **éclaircies génétiques** visant les clones du verger les plus sensibles pourraient être conduites à Sivens. Des analyses plus poussées de la sensibilité aux deux pathogènes (maladie des bandes rouges et *Diplodia sapinea*) pourraient également être poursuivies dans les vergers, afin d'éliminer les familles ou clones les plus sensibles aux deux champignons.

La **diversité génétique individuelle** pourrait aussi être intégrée lors de la récolte des cônes dans les vergers à graines, en tenant compte des symptômes de la maladie des bandes rouges (et de *Diplodia sapinea*) afin de privilégier la récolte sur les arbres les plus sains.

Pour le forestier, **l'attention à la qualité sanitaire des plants lors de leur réception** est plus que jamais primordiale (voir l'arrêté relatif aux normes qualitatives applicables à la production sur le territoire national de matériels forestiers de reproduction, modifié le 3 sept. 2020). Si la plantation a lieu dans une zone pas ou peu affectée par le pathogène jusqu'alors, il sera important de veiller à ne

pas importer de plants issus d'une zone où la maladie est reconnue présente. Dans les zones où la maladie est déjà installée, il est tout aussi important de veiller à ne pas transplanter de plants infectés, afin de limiter au maximum l'introduction d'une nouvelle souche de champignon. Par recombinaison génétique avec les pathogènes déjà présents, cette éventualité pourrait conduire à l'apparition de formes plus virulentes de la maladie.

Comment gérer les peuplements ?

Le suivi individuel a permis de démontrer que l'atteinte au sein des peuplements était différente selon les arbres et que les arbres plus vigoureux étaient en moyenne moins atteints. De plus, pour une atteinte équivalente, un arbre dont le houppier est bien développé sera plus à même de soutenir une croissance acceptable, et aura une meilleure résilience pour reconstituer son houppier.

Une **sylviculture dynamique dans le jeune âge**, avec – selon les stations – une première intervention précoce (entre 6 et 10 m de hauteur) et abaissant la densité entre 600 à 800 tiges/ha, selon la densité de plantation, est donc préconisée (Les Pins en région Centre, 2007). Les peuplements devront être ensuite **maintenus à des facteurs d'espacement suffisamment élevés (ne jamais descendre en-dessous de 25 %)**, afin de conserver un niveau de croissance intéressant même en période de fortes atteintes par la maladie des bandes rouges. Dans les peuplements suivis

Un dépressage ou une éclaircie précoce permettront aux peuplements de conserver une croissance satisfaisante durant les années favorables au développement de la maladie.





Peuplement de pin laricio prévu en éclaircie, fortement touché par la maladie des bandes rouges : il est préférable de porter l'éclaircie jusqu'à ce que le couvert se referme.

dans le cadre du projet, la croissance était en effet quasiment nulle les années les plus critiques dans les peuplements les plus denses, alors que pour les peuplements ayant bénéficié d'une sylviculture dynamique, la croissance en circonférence était de l'ordre de celle des peuplements denses hors crise sanitaire.

Dans ce cadre, **le martelage devra privilégier la vigueur** et l'état sanitaire individuel.

Évaluer le niveau de croissance et adapter ses éclaircies

La gestion des peuplements existants nécessite d'être attentif au niveau d'attaque de la maladie lors du passage en éclaircie mais également à l'accroissement du peuplement au vu des interventions passées. Il est nécessaire de :

- 1) Évaluer l'intérêt de l'éclaircie : compte tenu de la baisse de croissance engendrée par la maladie des bandes rouges, il est possible que des aménagements soient à apporter dans les programmes de coupes suite à la première éclaircie. Il convient de veiller à **l'intérêt des éclaircies successives en évaluant le niveau de fermeture du couvert**. En l'absence de réactions du peuplement à la précédente éclaircie (houppiers largement disjoints), l'opération devrait être retardée pour ne pas décapitaliser inutilement le peuplement.
- 2) Si l'éclaircie se justifie, prendre en compte en priorité l'état sanitaire :
 - ➡ prélever les arbres les plus atteints, quelle que soit leur taille et leur qualité,
 - ➡ privilégier la vigueur en maintenant les arbres les plus gros, sauf s'ils sont fortement atteints ou largement plus atteints que leurs voisins,

- ➡ à dimension égale, prélever le plus atteint,
- ➡ l'état sanitaire et la vigueur restent prioritaires par rapport à la qualité.

À noter que pour les peuplements fortement touchés et non mûrs économiquement, **aucun argument n'existe pour les exploiter prématurément.**

Laricio, oui en diversifiant les provenances

La qualité du bois, la croissance et la résistance aux stress hydriques font du pin laricio une essence intéressante. Dans un contexte de développements de problèmes biotiques et abiotiques pour la plupart des principales essences forestières, maintenir les pins laricio de Corse et de Calabre parmi les essences objectif est indispensable. **Relever la place accordée au pin laricio de Calabre issu du verger à graines d'État de Sivens** par rapport à celle du pin laricio de Corse, doit être envisagé, au regard de sa production soutenue et de son bon comportement face à la maladie des bandes rouges.

Nous pouvons retenir de cette étude que le pathogène, à l'instar du changement climatique, doit nous amener vers trois mesures d'adaptation souvent citées :

- ➡ mieux cibler les stations favorables à l'essence, en évitant de l'introduire en marge de ses exigences, et en intégrant l'environnement biotique dans le diagnostic écologique,
- ➡ diversifier les peuplements en évitant les surfaces importantes monospécifiques,
- ➡ dynamiser la sylviculture : dépressage ou 1^{re} éclaircie précoce, puis rotation fréquente pour maintenir une faible concurrence et favoriser des arbres vigoureux à houppier bien développé. ■



Dégâts sur un peuplement mélangé de chênes et de bouleaux. Les impacts négatifs du changement climatique touchent tous les types de forêts, et concernent des essences locales présentes depuis des millénaires et jusque-là très adaptées à un environnement local. Sylvain Gaudin © CNPF



Larguer les amarres forestières et penser comme des nomades, de la conservation du passé à la restauration du futur

 15 min

Par Hervé Le Bouler, consultant Forêt – sylviculture – société – sciences, responsable forêt de France Nature Environnement (FNE)

¹ Choi, Young D., 2004. Theories for Ecological Restoration in Changing Environment: Toward 'Futuristic' Restoration: Theories for Ecological Restoration, *Ecological Research*, 19 (1), p. 75-81. https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00594_19_1.x
Choi, Young D., 2007. Restoration Ecology to the Future: A Call for New Paradigm, *Restoration Ecology*, 15 (2), p. 351-53. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00224.x>

² Google Scholar mentionne 312 citations du premier article avec aucun auteur français dans les 100 premières citations. Sansilvestri R., Frascaria-Lacoste N., Fernandez-Manjarres J. ne semblent pas l'avoir mentionné dans leurs diverses publications consacrées au sujet.

³ Timothée Fouqueray développe ces relations dans sa thèse soutenue en 2019 : « Adaptations aux incertitudes climatiques de long terme : trajectoires socio-écologiques de la gestion forestière française ».

Face à l'accélération du changement climatique, faut-il intervenir et accélérer la migration des essences ? Ou bien laisser la nature s'adapter avec ses seuls moyens ? Est-ce protéger les écosystèmes ? Cette migration peut être considérée comme une opportunité pour ces essences migrantes de survivre vers une région où elles pourraient maintenir les services écosystémiques sous les climats actuels et futurs. Les forestiers doivent et devront assurer la pérennité de l'état boisé et apprendre à adapter leur gestion continuellement...

En 2004 et 2007, Young D. Choi a publié deux articles¹ apparemment restés en dehors des radars des communautés scientifiques et forestières françaises².

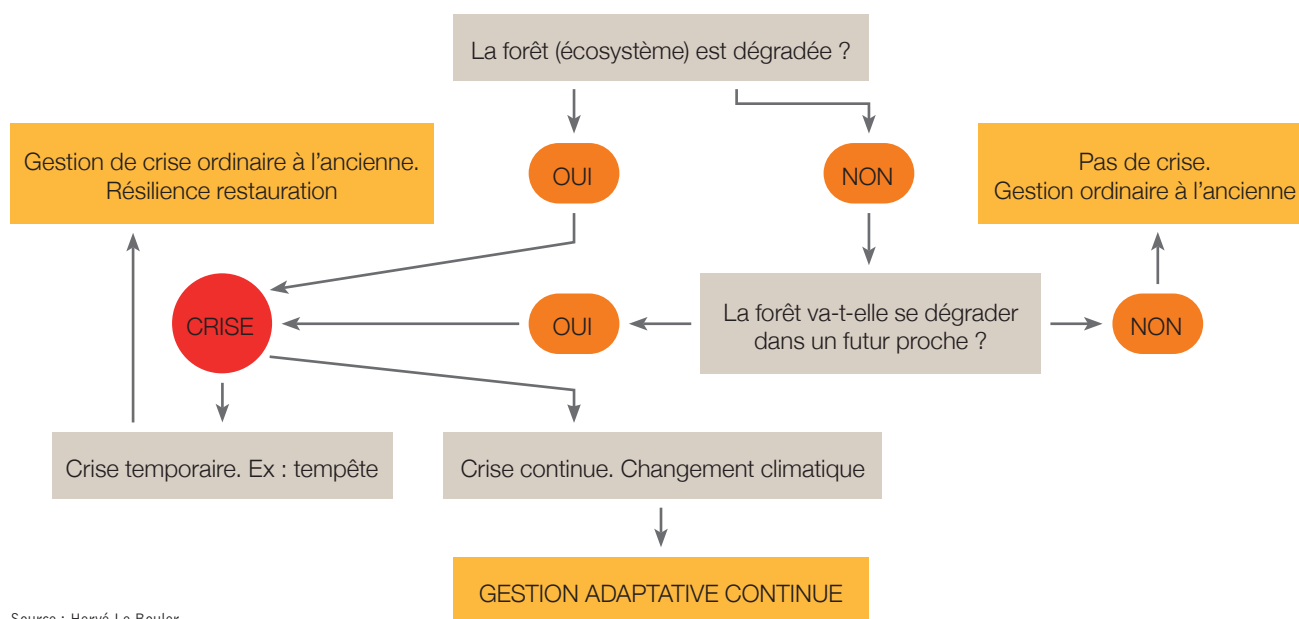
Ces articles s'inscrivent dans le champ de la conservation et de la restauration des écosystèmes. Ce champ intellectuel est en France relativement déconnecté de celui de la gestion forestière, qui relève d'une tradition culturelle et universitaire plus ancienne.

L'approche écosystémique des forêts et de leur gestion avec le fait que les forêts françaises constituent le principal réservoir national de naturalité terrestre ont cependant contribué à faire conver-

ger les approches dans les dernières décennies³. Choi propose un nouveau paradigme de la restauration des écosystèmes : la restauration futuriste. Ce paradigme permettrait à la fois de raisonner la conservation des écosystèmes et le maintien des services écosystémiques y compris la fourniture de bois, objets de la gestion forestière classique.

Ce paradigme est selon lui rendu nécessaire par le caractère radicalement nouveau de l'environnement climatique, dans lequel se trouvent les écosystèmes. Appliqué aux forêts, ce paradigme présente les caractéristiques suivantes (adapté de Choi 2004, 2007) :

Figure 1 – De la gestion de crise à la gestion adaptative continue



Source : Hervé Le Bouler

- ➡ 1) Fixer des perspectives réalistes et dynamiques (au lieu de statiques) pour l'environnement futur, plutôt que de faire référence au passé.
- ➡ 2) Assumer plusieurs trajectoires reconnaissant la nature imprévisible des communautés écologiques et des écosystèmes et celle tout aussi peu prévisible des réponses à des environnements climatiques en changement permanent.
- ➡ 3) Prendre une approche écosystémique et paysagère, au lieu de l'approche par la culture de l'essence *ad hoc*, tant pour le fonctionnement et les services écosystémiques attendus que pour la structure des peuplements.
- ➡ 4) Évaluer en continu le suivi de la restauration futuriste avec des critères explicites, fondés sur des mesures qualitatives et quantitatives.

Ces caractéristiques deviennent alors celles d'un schéma général de la gestion adaptative des forêts françaises qui serait déclenchée lorsque les conditions de l'arbre de décision suivant sont réunies.

Les articles de Choi prennent place dans des débats et des controverses, qui parcourent le monde anglo-saxon depuis une trentaine d'années. Le débat oppose les tenants d'une intervention de l'homme dans la gestion des écosystèmes, via l'éco-ingénierie et les partisans d'une non-intervention laissant la nature évoluer selon sa propre dynamique. Les changements climatiques et l'accélération des perturbations anthropiques en général n'ont fait que réactiver des débats anciens entre une vision de conservation d'une part et une vision de protection d'autre part⁴.

Ces débats, qui se sont cristallisés autour du

concept de « migration assistée », sont alors restés absents de France.

Mais le devenir des écosystèmes forestiers métropolitains français est devenu un sujet public majeur tout au long de l'année 2020. C'est la conséquence d'une très forte montée en visibilité des impacts négatifs des changements climatiques, avec en particulier les dépérissements spectaculaires liés à la météo des trois dernières années. Tout au long de l'année 2020, des documents de synthèse ont été publiés, qui ont fait l'objet d'un consensus assez large au sein des acteurs de la sphère forestière au sens large (Rapport forêts en crise des grandes ONG, Rapport Cattelot, Feuille de route forêts du futur du CSFB). L'interaction avec le contexte Plan de relance COVID semble par contre faire naître un début de controverse. Le plan de relance consacre en effet de quoi réaliser 40 000 ha de reconstitution-adaptation de forêts dégradées ou menacées de dégradation par les changements globaux.

Une première contestation de ce plan relève d'un reproche d'instrumentalisation des changements globaux pour faire avancer des modèles de gestion artificialisant fortement les écosystèmes forestiers. Ce débat n'est pas nouveau, il est seulement réactivé.

Une autre contestation se situe clairement par contre dans le débat conservation-protection et constitue alors une sorte de mise à jour française d'un débat et de controverses en place depuis plusieurs décennies dans le monde anglo-saxon. Le plan de relance laisse largement ouvert le choix des essences et provenances pouvant être utilisées en plantation au titre de l'adaptation

⁴ À ce propos, les débats Pinchot vs Muir il y a un peu plus de 100 ans aux États-Unis ont été évoqués dans différents articles en français de C. Barthod. http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/56886/RFF_2015_1_53_75.pdf?sequence=1



⁵ On pourra consulter avec profit les préconisations d'une récente étude du CESE, Badré 2020. <https://www.lecese.fr/travaux-publies/etude-sur-la-methode-d-analyse-des-controverses-au-sein-du-cese>

⁶ Cet article est reproduit *in extenso* dans la thèse de Roxane Sansilvestri : *Évaluation de la capacité adaptative des socio-écosystèmes forestiers face au changement climatique : le cas de la migration assistée*, Thèse présentée et soutenue à l'AgroParisTech de Paris, le 17 décembre 2015.

⁷ <https://www.onf.fr/onf/recherche/+2f9::projet-giono-en-images-le-grand-exode-climatique-des-arbres.html>

des forêts au changement climatique. Il n'impose également que des contraintes faibles relativement à la diversification des essences au sein des parcelles plantées. Ce choix politique ne clôt pas les questions ouvertes par l'hypothèse de stratégies adaptatives utilisant l'introduction d'essences et de provenances non autochtones en forêt, mais elles les déplacent au niveau du propriétaire planteur qui doit alors prendre la responsabilité du choix.

À défaut d'apporter des réponses à ces questions, le schéma de gestion adaptative dérivé de Choi permet d'objectiver les questions posées et de contribuer à y répondre que ce soit en mode débat ou controverse au sens scientifique⁵.

Le questionnement se déplace alors sur plusieurs sujets.

S'agit-il d'une migration assistée ?

On peut partir de la traduction d'un extrait de l'article *Reconstructing a deconstructed concept: policy tools for implementing assisted migration for species and ecosystem management* de Roxane Sansilvestri, Nathalie Frascaria-Lacoste et Juan F. Fernandez-Manjarrés⁶ : « La plupart du temps, la migration assistée (MA) fait référence au mouvement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'aire de répartition naturelle des espèces pour atténuer les impacts du changement climatique (Aitken et Whitlock, 2013).

Ici, nous considérons la MA comme une technique générale correspondant à un mouvement assisté par l'homme d'entités biologiques (graines, autres propagules, individus ou populations) d'une région où leur survie est le plus souvent menacée par le changement climatique vers une région où elles pourraient survivre et maintenir les services écosystémiques sous les climats actuels et futurs ».

La migration assistée apparaît alors comme une stratégie de conservation visant à se prémunir de la dégradation ou de la disparition locale d'une espèce dans un milieu, où elle est présente naturellement. Le « projet Giono⁷ » relève clairement de cette démarche.

Dans le cadre de la gestion adaptative avec introduction d'essences et provenances, il y a bien un « mouvement assisté de plantation d'une essence dans une région, elle pourra survivre et fournir des services écosystémiques sous les climats actuels et futurs ». Mais ce n'est pas la menace, existante ou non, dans l'écosystème de départ qui motive l'opération, mais à l'inverse la crainte de perte de ces services dans celui d'arrivée. Dans ce sens, il faudrait alors plutôt parler « d'immigration choisie ».

Quels sont les services écosystémiques et les fonctionnalités propres de l'écosystème qui ne seront plus assurés dans le futur par les espèces en place ?

Dit autrement, la question se pose sur ce que l'on risque, à ne pas introduire d'essences, ou de perdre en termes de biodiversité locale. Ce risque de perte doit être évalué y compris avec une gestion adaptative qui n'a pas recours à de nouvelles essences ou provenances, mais qui cherche une meilleure résilience des espèces en place et une adaptation plus rapide via la régénération naturelle.

L'introduction de nouvelles provenances et espèces ne va-t-elle pas entraîner des effets négatifs faisant plus que contre balancer les effets positifs attendus ?

On peut ranger dans cette question les risques d'espèce devenant invasives, l'introduction de maladies et parasites affectant la biodiversité en place et la perturbation par hybridation ou introgression du patrimoine génétique des espèces locales. Il faut noter que ces derniers phénomènes peuvent aussi être recherchés si on considère que sans cela, ce patrimoine serait complètement et définitivement perdu.

La migration naturelle ne serait-elle pas suffisante pour répondre aux enjeux ?

La migration naturelle, pour les végétaux se reproduisant exclusivement par les semences,



Le chêne pubescent, essence du sud de la France, est une solution privilégiée pour maintenir des chênaies dans la moitié Nord avec des caractéristiques écosystémiques économiques et paysagères peu différentes de celles actuelles.

Marie-Laure Gaduel © CNPF

a assuré le maintien des écosystèmes, alors qu'au moins 17 périodes glaciaires se sont succédées au cours des 2 derniers millions d'années. La vitesse de migration naturelle des végétaux est contrainte par la capacité de dispersion des semences durant une génération d'arbre. Elle est de l'ordre de 100 mètres par an en moyenne. L'autre contrainte est la vitesse du changement climatique. Pour que l'espèce se maintienne, il faut que le changement climatique, qui détermine par le chaud ou le froid l'aire naturelle d'une espèce, soit suffisamment lent pour que les espèces aient le temps de le suivre et de remplacer spontanément les espèces locales qui dépérissent. Ce n'est pas le cas avec le changement actuel beaucoup trop rapide. Il faudrait, pour éviter des pertes longues de biodiversité locale non compensées, que des phénomènes de résilience et d'adaptation non identifiés dans le passé se produisent.

Combien de temps durera l'adaptation générée par « l'immigration choisie » ?

Le changement climatique est un phénomène continu. Les derniers rapports du GIEC⁸ disent qu'il se stabilisera au mieux à l'horizon de la fin de ce siècle. Ce que l'on sait de sa magnitude attendue et de la gamme climatique de tolérance des essences forestières, pose la question du nombre d'essences ou provenances qui seraient *a priori* adaptées à la fois au climat actuel, afin qu'elles puissent s'installer et en même temps à celui qui prévaudra à la fin de leur cycle de vie et encore plus à celui des générations suivantes.

Combien d'essences et de provenances différentes faut-il introduire dans une parcelle pour optimiser les chances de réussite de la gestion adaptative ?

Les incertitudes sur l'évolution des relations hôtes, parasites et pathogènes ne permettent pas de garantir qu'une essence quelconque soit à l'abri d'un risque sanitaire majeur. Au-delà même des effets directs des mélanges d'essences sur la robustesse des écosystèmes, une approche basique des risques conduit à privilégier un nombre important d'essences différentes au niveau de la parcelle. La détermination de ce nombre optimal est aujourd'hui entachée de grandes incertitudes et est compliquée par la méconnaissance des conditions de cohabitation durable entre elles.



Installer plusieurs essences dans la même parcelle diminue les risques futurs de dépérissements généralisés et de dégâts sanitaires. Sylvain Gaudin © CNPF

Quel doit être le niveau de similitude entre les biodiversités actuelles des forêts d'origine et celles d'introduction ?

Une essence forestière ne vit jamais isolée au sein d'un écosystème. Elle entretient des relations complexes avec des milliers d'autres espèces présentes, dont elle dépend et qui dépendent d'elles.

Ces relations d'interdépendances ne sont pas exclusives aux seules espèces aujourd'hui simultanément présentes dans une forêt ou une petite région forestière. Ces relations se sont développées tout au long de la vie des espèces qui se compte en millions, voire en dizaines de millions d'années. Du fait des migrations liées aux périodes glaciaires, la quasi-totalité des essences forestières de l'Europe et du bassin méditerranéen se sont croisées ou ont cohabité plus ou moins longuement à un moment ou un autre de leur histoire. Il en va de même de la quasi-totalité de la biodiversité forestière actuelle en France. Il en est résulté une co-évolution qui *a priori* limite pour ces espèces les risques d'invasivité ou de sensibilité pathologique particulière. Cependant ce ne sont là que des considérations théoriques générales.

Conclusion : larguer les amarres et penser comme des nomades

Larguer les amarres

Il est maintenant clairement évident que les conditions climatiques locales, qui ont été celles de nos forêts depuis la fin de la dernière recolonisation post glaciaire, ont disparu et ne reviendront plus. À plus ou moins 2 degrés près, c'est 9 000 ans de stabilité climatique, qui vient de se terminer sous nos yeux à la fin de cette décennie. Cette stabilité climatique et

⁸ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

le réchauffement qui l'avait précédé ont conduit dans un premier temps à installer localement, par migration naturelle, une biodiversité s'appuyant sur les essences locales sociales dominantes ; à maturer les sols forestiers et à mettre en place un fonctionnement écosystémique local robuste et résilient servant de référence. La gestion forestière, consciemment ou non, n'a pu se développer qu'en bénéficiant de cette stabilité et à condition d'en respecter les règles. C'est ce que traduisait le vieil adage : « imiter la nature, hâter son œuvre ». La stabilité climatique était un port d'attache vers lequel l'écosystème revenait toujours quelles que soient les perturbations naturelles ou humaines qu'il subissait. C'est ce port d'attache qui est en train de disparaître. Spontanément ou sous conduite humaine plus ou moins intensive, il ne sera plus possible de revenir vers ce qui n'existe plus. Le forestier doit en faire son deuil et larguer les amarres forestières.

Pour aller vers où ?

Depuis plus d'un siècle, on dispose en France de mesures météorologiques, qui permettent de suivre les évolutions locales du climat. On constate alors que les changements climatiques ne sont pas erratiques et que les nouveaux climats qui apparaissent localement existaient déjà ailleurs avant que ceux-ci ne s'accroissent, soit en gros avant 1990. Ainsi pour le sud de l'Oise et la forêt de Chantilly, depuis 1990 ; les climats successifs ont été celui de Fontainebleau puis de l'Orléanais pour correspondre actuellement à celui du Saumurois. La poursuite linéaire du réchauffement conduirait au climat du sud de la Dordogne vers 2050 et du Lauragais en 2070. Les incertitudes sont trop grandes pour prolonger encore plus

les tendances qui conduiraient alors probablement à des climats de type méditerranéen. À chacun de ces climats correspond, pour un même type de sol, des écosystèmes forestiers différents avec des composantes de biodiversité qui apparaissent et disparaissent. Aucun ne peut servir de nouvelle référence absolue.

Penser comme des nomades

Ce changement climatique continu conduit à abandonner l'espoir pendant au moins le demi-siècle à venir et sans doute plus, d'un nouveau port d'attache. Il est totalement illusoire d'imaginer d'adapter dès maintenant et une fois pour toutes la forêt à un quelconque climat futur qui serait définissable et vers lequel on se dirigerait puis où on s'arrêterait. Nous sommes devenus des forestiers non pas errants, nous savons par où nous allons passer, mais nomades car nous ne ferons qu'y passer.

Finalement c'est la gestion bien plus que la forêt qu'il convient d'adapter en continu. Les principes de cette gestion adaptative restent pour l'essentiel à imaginer et à mettre en œuvre.

L'approche par la pérennité du fonctionnement écosystémique au sens de la présence d'espèces assurant les flux et les stockages d'énergie et de matière dans les écosystèmes forestiers, prend alors le pas sur le choix de l'essence objectif qui assurerait la satisfaction des objectifs de service ou de production de biens prédéfinis. Cette obligation impérieuse de devoir d'abord assurer au mieux la pérennité de l'écosystème forestier change assez radicalement les perspectives de ce que sera dorénavant le métier de forestier. Et finalement renvoie dos-à-dos comme irréalistes deux options de réponse aux changements climatiques : la simplification par les monocultures et la non-intervention par la libre évolution intégrale. Non pas que ces réponses soient impossibles à mettre en œuvre ni sans intérêt ponctuel, mais au vu de leurs inconvénients : coûts d'une part et perte de multifonctionnalité de l'autre, elles n'apparaissent pas comme des solutions standards pour les forêts françaises. ■

En savoir⁺

Les habitats forestiers face aux changements climatiques : quels enjeux, quelles actions ?

Julie Pargade, CNPF-CRPF

Nouvelle-Aquitaine et Thomas

Brusten, CNPF-IDF,

Forêt-entreprise n° 255, p.54-59, 2020.



Plantation d'un plant en motte. Les conditions climatiques nouvelles sont très stressantes pour les jeunes plants et augmentent le risque d'échec de reprise. Une plantation soignée avec des plants de qualité est la condition incontournable de l'adaptation. Sylvain Gaudin © CNPF



CALENDRIER DES VENTES GROUPÉES ORGANISÉES PAR EXPERTS FORESTIERS DE FRANCE

Ventes Automne 2021

	Lieu de la vente	Dép.	Date	Heure	Expert coordonnateur	Description de la vente
Nouvelle-Aquitaine	Montamisé	86	12/11/2021	14h00	J.F. de la Motte	Feuillus et résineux
	Labouheyre	40	18/11/2021	09h30	G. Duclos	Résineux
	Ussel	19	02/12/2021	10h00	S. Coudert	Résineux
Auvergne-Rhône-Alpes	Randan	63	26/10/2021		P. Fargevieille	Feuillus et résineux
Bourgogne-Franche-Comté	Binges	21	08/09/2021	15h00	T. Susse	
	Allerey sur Saone	71	29/09/2021	09h30	F. Bachelet	Vente de chênes
	Dompierre les Ormes	71	15/10/2021	09h00	P. Costaz	Résineux sur pied
	Appoigny	89	18/10/2021	14h30	S. Chaton	Vente de chênes
	Pont de Roide	25	20/10/2021	17h00	L. Chavane	Feuillus et résineux
	Dijon	21	21/10/2021		O. Pain	
	Vesoul	70	22/10/2021	16h30	P. de Broissia	Feuillus et résineux
	Nevers	58	28/10/2021	14h00	J.L. Bartmann / A. Janny	Feuillus et résineux
	Poisson	71	29/10/2021	08h45	B. Goutorbe	Feuillus et résineux
	Auxerre	89	02/11/2021	14h00	A. Janny	Vente de petits bois feuillus
	Allerey sur Saone	71	15/11/2021	17h00	F. Bachelet	Vente de peupliers
	Saulieu	21	16/11/2021		T. Susse	Résineux
	Mervans	71	06/12/2021	17h00	J. Tomasini	Feuillus
Besançon	25	13/12/2021		J. Tomasini		
Bretagne	Iffendic	35	18/11/2021	14h30	C.Luco	Feuillus et résineux
Centre-Val de Loire	Villebarou	41	14/09/2021	14h00	G. Cardot	Chênes uniquement
	La Croix en Touraine	37	24/11/2021	14h30	E. Delaunay	Feuillus et résineux
	La Bussière	45	01/12/2021	14h30	I. de Chasseval	Feuillus et résineux
Grand-Est	Taissy	51	08/09/2021	14h00	L. Massy	Feuillus et résineux
	Bains les Bains	88	24/09/2021	14h00	L. Chavane	Feuillus et résineux
	Nancy	54	05/10/2021	14h30	A. Haaz	Feuillus sur pied
	Cirey sur Vezouze	54	12/10/2021	14h30	A. Haaz	Résineux sur pied
	Rolampont	52	13/10/2021	14h00	A. Barthélémy	Feuillus sur pied et bord de route
	Nancy	54	14/12/2021	14h30	A. Haaz	Feuillus bord de route
Pays de la Loire	Gondrexange	57	A définir		E. de Turkckheim	Grumes feuillues abattues débardées
	Sablé-sur-Sarthe	72	21/10/2021	14h00	E. Lorne	Feuillus et résineux
	Sablé-sur-Sarthe	72	16/12/2021	14h00	G. de Lavernée	Feuillus et résineux
Occitanie	Mazamet	81	19/11/2021	10h00	F. Lejuez	Résineux
Paris – Île-de-France	Paris	75	19/11/2021	14h30	P. Costaz	Feuillus et résineux
	Paris	75	26/11/2021	09h00	M. de Vasselot	Feuillus et résineux
Normandie	La Ferté Fresnel	61	04/11/2021	14h00	F. Hauet	Toutes essences
Hauts-de-France	Pierrefonds (Oise)	60	27/10/2021	14h30	J.M. Peneau	Toutes essences
	Hirson	2	09/12/2021	14h00	L. Massy	Feuillus bord de route

Cahier de vente téléchargeable un mois avant la vente sur : www.foret-bois.com

EFF est une marque déposée, propriété de la CNIEFEB.

Cette association à vocation syndicale a pour principal objectif le développement du métier d'Expert Forestier et d'Expert Bois.

Désormais, les Experts Forestiers de la CNIEFEB communiqueront exclusivement à travers leur marque « EFF ».

Une photographie à l'honneur



Titre : Les 3 éléments : le bois, l'eau et la pierre

L'auteur : Olivier Martineau



Romain Chatain © CNPF

Technicien forestier dans les Hautes-Alpes, passionné de photo depuis toujours et correspondant Photothèque pour la région PACA. Il s'emploie à partager cette passion et à la transmettre à ses collègues.

Je n'ai pas de sujet de prédilection, mais j'aime le « beau » en photo, le côté esthétique, la lumière, les ambiances et les émotions. J'aime faire varier les focales, la profondeur de champ, multiplier les points de vue. Il faut être patient et attendre parfois le bon moment.

Commentaire de la photo :

Cette photo a été prise en automne, dans la vallée de Laverq dans les Alpes de Haute-Provence. J'aime son côté artistique, sa composition, l'ambiance. J'ai opté pour une pose longue pour mettre en valeur le côté bouillonnant de l'eau, avec un post traitement dans Lightroom.