

9,50 €

n° 249

Nov.-Décembre  
2019

# FORÊT

## entreprise

*La revue technique des forestiers*

Dossier :  
**Forêt et  
changement climatique**  
Accompagner la décision d'adaptation

Scolytes et canicules

Cèdre

L'arbre à fer

  
**CNPF**  
Institut pour le  
Développement forestier



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

Directeur de la publication  
**Antoine d'Amécourt**

Directrice de la rédaction  
**Claire Hubert**

Rédactrice  
**Nathalie Maréchal**

Conception graphique  
Mise en page  
**Sophie Saint-Jore**

Responsable Édition-Diffusion  
**Christine Pompougnac**

Diffusion - abonnements  
**François Kuczynski**

Publicité  
**Bois International**  
14, rue Jacques Prévert  
Cité de l'avenir - 69700 Givors  
Tél. : 04 78 87 29 41

Impression  
**Imprimatur**  
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 2019**  
**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 : 18009235500452

Les études présentées dans Forêt-entreprise ne  
donnent que des indications générales. Nous  
attirons l'attention du lecteur sur la nécessité  
d'un avis ou d'une étude émanant d'une per-  
sonne 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 : novembre - décembre 2019**



S. Gaudin © CNPF



La crise des scolytes, la sécheresse et les canicules de l'été 2020, de nombreux dépérissements... conséquences directes ou indirectes des dérèglements climatiques, font prendre brutalement conscience aux forestiers mais aussi à l'ensemble de la société, de la fragilité réelle des écosystèmes de nos forêts et des interrogations multiples que génère un climat futur incertain. Bernard Chevassus-au-Louis, lors des journées techniques nationales 2017 du CNPF, insistait sur l'ampleur des changements qui attendaient les forestiers. Je résume son propos (cf. *Forêt-entreprise* n° 239) : le temps de la recherche de la solution optimale au seul plan économique est passé, il faut trouver les solutions les moins risquées au plan biologique et écologique qui restent malgré tout économiquement viables ; le sujet s'est donc singulièrement compliqué.

Depuis plusieurs années déjà, la communauté scientifique et technique s'est mise au travail. Le RMT Aforce animé par le CNPF, rassemble les efforts de recherche des organismes forestiers autour du changement climatique en forêt. Il a tenu un colloque en mars dernier sur les dernières avancées. Vous trouverez leurs résultats dans ce numéro.

Au CNPF, l'équipe de l'IDF (Institut pour le Développement Forestier, service Recherche et Développement du CNPF), met au point des outils de diagnostic forestier basés sur ces derniers résultats et formule des recommandations en lien avec les CRPF. Les propriétaires sont nombreux et leurs forêts variées ; une diversité de solutions doit pouvoir être proposée. La plupart de ces outils seront prochainement opérationnels et notre ambition est qu'ils deviennent utilisables facilement par chacun. Après la télétransmission des plans simples de gestion, les forestiers entreront dans le monde numérique grâce à des outils « intelligents » que le CNPF travaille à rendre « autoapprenants »... ; plus on les utilisera plus ils deviendront performants... Découvrez en certains dans cette édition et testez-les prochainement grâce à l'appui des techniciens de CRPF.

Claire Hubert, directrice générale  
du Centre national de la propriété forestière.



G. Sajdak © CNPF

Numéro suivant N° 250  
Équilibre Forêt-Gibier  
InterCetef

ACTUS



4

**ABONNEZ-VOUS À FORÊT entreprise**  
OU ABONNEZ L'UN DE VOS PROCHES  
*La revue technique des forestiers*

Renseignements sur : [www.foretriveefrancaise.com](http://www.foretriveefrancaise.com)  
↳ rubrique librairie ↳ les publications de l'IDF  
ou par courriel : [idf-librairie@cnpf.fr](mailto:idf-librairie@cnpf.fr)

**FORÊT entreprise**  
La revue technique des forestiers

**30 % de remise**  
pour les adhérents  
de groupes de développement

**ABONNEMENT NUMÉRIQUE**  
• 1 AN + 2 ANS D'ARCHIVES  
39 €

**ABONNEMENT PAPIER + NUMÉRIQUE • 1 AN**  
60 € • ÉTRANGER : 73 €

**ABONNEMENT PAPIER**  
1 AN • 6 NUMÉROS  
50 € • ÉTRANGER 63 €

Pour tout abonnement numérique, merci de nous communiquer votre adresse email afin d'obtenir votre code d'accès.

Centre national de la propriété forestière -  
Institut pour le développement forestier  
47 rue de Chaillot - 75116 PARIS  
Tél. : 01 47 20 68 39

**Dossier**  
Connaître sa forêt :  
identifier les stations

De l'essence à la plantation | Répondre à la forêt | Essayer dans l'atelier changement climatique



© J.-P. Warzee

**SANTÉ DES FORÊTS**

6

Scolytes, chablis, canicules et  
changement climatique :  
un mélange explosif !

Marie-Antoinette Mélières, Philippe Riou-Nivert

**CÈDRE**

57

Anomalies de croissance  
du cèdre en Ardèche

Sabine Girard, Jean Lemaire et Thierry Améglio

**EXPÉRIMENTATION**

62

L'arbre à fer, une protection gibier  
qui ne laisse pas indifférent

Pierre Beaudesson

## Dossier :

# Forêt et changement climatique : accompagner la décision d'adaptation

- > 12 **Aforce, 10 ans d'expertise forestière**  
Céline Perrier et Olivier Picard
- > 14 **Les projets soutenus par le RMT AFORCE depuis sa création**
- > 15 **Présentation du RMT Aforce**
- > 16 **Évolution du climat : tendances et perspectives pour la forêt**  
Quelle est la politique actuelle d'adaptation en France ? Jérôme Duvernoy, Jean-Michel Soubeyroux et Mathieu Regimbeau
- > 20 **État de la mobilisation des forestiers face au changement climatique**  
Annabelle Amm, Brigitte Pilard-Landeau, Éric Sevrin, Céline Perrier, Julie Thomas, Myriam Legay et Hippolyte Ndikumwami
- > 24 **Un réseau collectif d'évaluation du potentiel d'adaptation des essences et provenances pour le futur** Hedi Kebli, Céline Perrier, Patrice Brahic, Éric Paillassa et Sabine Girard
- > 27 **Pré-cartographie des stations forestières sur le Nord-Ouest de la France**  
Florentin Madrolles, Jean-Baptiste Reboul et Christian Piedallu
- > 30 **Dépérissement du Pin sylvestre et outils d'aide à la gestion**  
Pauline Marty, Alexandre Jourdan, Michel Vennetier et Jean Lemaire
- > 33 **Un outil en ligne pour accompagner le choix des essences forestières dans un contexte de changement climatique**  
Sophie Bertin, Myriam Legay, Brigitte Musch, Eric Paillassa, Céline Perrier et Alexandre Piboule
- > 35 **Évolution des risques forestiers et initiatives en cours pour en améliorer la gestion** Christophe Orazio
- > 39 **Évaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation**  
Hervé Jactel et Céline Meredieu
- > 40 **Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection**  
Véronique Chéret, Michel Goulard et Yousra Hamrouni et Michel Chartier
- > 41 **Quelles pratiques sylvicoles pour l'adaptation des forêts au changement climatique ?** Philippe Balandier et Philippe Riou-Nivert
- > 43 **Améliorer la capacité du chêne sessile à répondre à des sécheresses extrêmes**  
Anna Schmitt, Raphaël Trouvé, Claudine Richter, Ingrid Seynave et François Lebourgeois
- > 46 **Agir sur la sensibilité à la sécheresse par la sylviculture** par François Courbet, Nicolas Martin-StPaul, Guillaume Simioni, Claude Doussan, Jean Ladier et Éric Badel
- > 49 **Un outil de simulation**  
F. Lefèvre, C. Godineau, N. Beudez, F. de Coligny, F. Courbet, S. Oddou-Muratorio, L. Sanchez, C. Deleuze, C. Pichot, M. Chartier, B. Musch, D. François, S. Girard, J. Guyot, L. Le-Legard Moreau, P. Riou-Nivert, Y. Rousselle, A. Salvaudon et C. Sédilot-Gasmi
- > 52 **Le processus d'innovation technologique en sylviculture**  
C. Collet, M. Blondet, C. Richter, C. Deleuze, F. de Morogues, A. Bouvet et J. Thomas
- > 54 **Au-delà d'Aforce, d'autres initiatives**  
Olivier Picard
- > 56 **AFORCE, l'expertise collective au service des acteurs régionaux**  
Olivier Picard

## Nouveau: Impacts du grand gibier



Comment les identifier, les quantifier, les limiter

La forêt est le domaine privilégié de la grande faune sauvage. La disparition des prédateurs naturels favorise la croissance des populations de cervidés ou de sangliers qui se nourrissent de végétaux.

Bien qu'ils soient intégrés à l'écosystème forestier, leur surabondance peut menacer le renouvellement de la forêt et les cultures des riverains.

La première des nécessités pour le forestier soucieux de régénérer sa forêt est donc de reconnaître les dégâts commis par la grande faune.

Ainsi, ce guide leur apporte en premier lieu tous les éléments pour établir un constat solide de la présence d'un déséquilibre. Ensuite, il propose des solutions pour rétablir cet équilibre agro-sylvo-cynégétique.

24 pages, format A4, 8 euros.

Présence de flashcodes pour reconnaître les cris de la grande faune et des vidéos pour identifier leurs comportements.

## Le bois se fait une place de choix sur France 5

Durant toute l'année, le bois français est mis à l'honneur dans plusieurs reportages de l'émission *La Maison France 5*.

Tous les vendredis à 20h50 sur France 5, Stéphane Thébaud vous présente son émission organisée en 5 rubriques:

- INSPIRER, une séquence consacrée à la décoration,
- RENOVER met en avant une maison ayant fait l'objet d'une très belle rénovation,
- CHOISIR se veut une rubrique de conseils d'achat, en fonction de ses besoins et de ses moyens,
- RÊVER offre une escapade autour du monde dans des maisons originales en compagnie de leurs propriétaires,
- CHANGER permet de financer des travaux de réaménagement d'un espace de la maison grâce à l'intervention d'architectes.

A travers les différents sujets, partez à la découverte du matériau noble préféré des français: le bois. Que ce soit pour la construction, la restauration, la rénovation, les réalisations permettent de mettre en avant différents savoir-faire.

En savoir plus : [franceboisforet.fr](http://franceboisforet.fr)

<https://www.france.tv/vie-quotidienne/deco-maison/france-bois-foret/>

## Nouveautés sur le site [Jemeformepourmesbois](http://Jemeformepourmesbois)

Le site [Jemeformepourmesbois](http://Jemeformepourmesbois) présente de nombreuses ressources pédagogiques sur la forêt privée. Il répond aux principales questions que se posent les propriétaires forestiers:

- Je débute: comment faire?
- Quel est le potentiel de ma forêt?
- Comment entretenir mes bois?
- Comment les vendre?...

Vidéos, fiches et diaporamas sont classés par thème et par niveau (je découvre, j'apprends, je réalise).

Parmi les nouveautés 2019: peuplements et interventions, aléas et changements climatiques en forêt, bilan prévisionnel, statut des chemins forestiers, accueil en forêt...

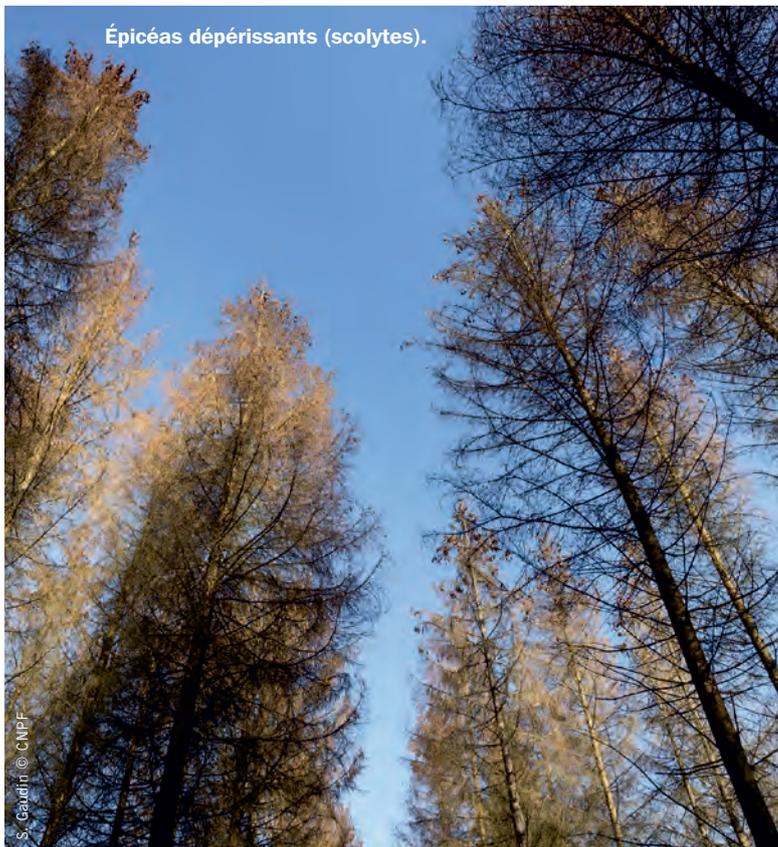
À voir également sur ce site des témoignages de propriétaires aux profils variés.

Site initié par le CNPF, en partenariat avec la Fédération Fransylva des forestiers privés et en synergie avec le dispositif de formation FOGEFOR.

## Quelques retards...

Cette édition vous est parvenue avec un peu de retard et la prochaine risque également d'être impactée. Nous nous en excusons vivement et nous efforçons d'y remédier dans les plus brefs délais.

Épicéas dépérissants (scolytes).



## Sécheresse : le point en forêt privée

Cet été 2019 a été caractérisé par une sécheresse prolongée et des températures élevées.

La crise sanitaire la plus visible est celle des peuplements atteints par les scolytes, insectes ravageurs qui creusent des galeries sous l'écorce des arbres. Les épicéas et maintenant les sapins de l'Est de la France, affaiblis par la sécheresse, sont particulièrement touchés, avec une dizaine de millions d'arbres morts qui doivent être récoltés pour éviter la pullulation des scolytes. L'arrivée sur le marché de ces volumes de bois inattendus déstabilise la filière forêt-bois.

Partout, chênes, pins sylvestres, châtaigniers, hêtres, et même les chênes pubescents et les chênes verts en zone méditerranéenne, souffrent de la récurrence des sécheresses, ce qui interroge sur les espèces qui peuvent être adaptées. La plupart des dépérissements constatés concernent des peuplements adultes, avec, cette année, des inquiétudes sur des essences qui avaient bien résisté jusqu'à présent.

Le CNPF se tient à disposition des propriétaires et de leurs gestionnaires professionnels pour aider à la réalisation des diagnostics et à la prise de décision. Il développe depuis plusieurs années des outils spécifiques pour ces diagnostics et teste des techniques sylvicoles d'adaptation aux changements climatiques.

**Pour plus d'informations: Scolytes, chablis, canicules et changement climatique : un mélange explosif!** (M. A. Mélières et P. Riou-Nivert, Forêt Entreprise n° 248).

## Mieux connaître la maladie de l'encre du châtaignier grâce aux sciences participatives : lancement de l'application Vigil'encre

L'encre du châtaignier est actuellement le principal frein à la culture du châtaignier en France et en Europe. Dans le contexte du changement climatique, l'impact de cette maladie risque d'augmenter. Afin de mieux évaluer les risques encourus, il est nécessaire de connaître précisément son actuelle aire de répartition. Les scientifiques de l'Inra ont développé une application mobile, Vigil'encre, disponible aujourd'hui sur les plateformes de téléchargement. Citoyens, gestionnaires de forêts ou arboriculteurs, chacun peut contribuer à la progression des connaissances en signalant les symptômes constatés sur les arbres et en envoyant des échantillons au laboratoire.

Grâce à leur analyse, il sera possible d'identifier plus précisément les agents pathogènes à l'origine des symptômes observés sur châtaignier, d'évaluer la distribution de la maladie de l'encre et de mettre en place des mesures de gestion sanitaire pertinentes et fiables.

Pour accéder au site web :

[http://ephytia.inra.fr/P/157/Vigil\\_encre](http://ephytia.inra.fr/P/157/Vigil_encre)

## Du bois souple à mémoire de forme

Weden est une start-up savoyarde. Elle a développé un procédé pour proposer des créations en bois souple et à mémoire de forme. « Nous travaillons le bois comme un matériau composite, ce qu'il est. Nous souhaitons amener le bois vers de nouveaux comportements et concurrencer d'autres matériaux, tels que le plastique ou les métaux. » commente Cyril Jiguet, son cofondateur. Les usages sont multiples : mobilier design, signalétique, supports de communication, sport...

Weden s'approvisionne auprès de fournisseurs de placage « en bois de pays le plus local possible, provenant de massifs de Haute-Savoie, de France ou, au plus loin, d'Europe ». Son catalogue décline plus de 150 essences de bois. Ce sont typiquement le hêtre, le châtaignier, le chêne ou le bouleau.

Source : Forestopic

En savoir plus : [www.wedenmade.com](http://www.wedenmade.com)

## Nouvelle réglementation sur les captages d'eau potable

La loi N° 2019-774 du 24 juillet 2019 a modifié les modalités de protection des zones de captage d'eau potable.

Désormais, trois périmètres distincts pourront être établis par rapport aux points de captage :

- un périmètre de protection immédiate,
- un périmètre de protection rapprochée,
- un périmètre de protection éloignée.

Ils seront définis par arrêté préfectoral. Jusque là, le préfet pouvait définir un périmètre de protection immédiate mais, depuis cette loi, il a l'obligation de le faire. Les terrains inclus dans ce périmètre devront être acquis en pleine propriété.

À l'intérieur des autres périmètres, les installations, travaux, activités, dépôts, ouvrages etc. pourront y être réglementés. Ainsi, l'activité sylvicole peut se trouver soumise à certaines contraintes particulières.

Il appartient donc aux propriétaires concernés par des points de captage d'eau potable d'être vigilants sur les restrictions d'activités auxquelles ils pourraient être soumis.

Antoine de Lauriston

# Scolytes, chablis, canicules et changement climatique : un mélange explosif !

Marie-Antoinette Mélières, climatologue et Philippe Riou-Nivert, CNPF-IDF

## Troisième partie

## Conséquences pour la forêt et la gestion

*La crise des scolytes, qui sévit dans l'Est de la France depuis 2018 interroge le forestier. Doit-il s'attendre à une augmentation de la fréquence de tels événements ? Dispose-t-il de moyens pour s'en prémunir ? Doit-il infléchir sa gestion ? C'est à ces questions que nous tentons de répondre par trois articles successifs consacrés respectivement aux scolytes, à l'évolution des canicules et aux moyens de prévention. Les deux premiers articles sont parus dans le précédent numéro de Forêt-entreprise n° 248. Celui-ci est le troisième et dernier.*



### L'avenir des forêts se prépare aujourd'hui

Résumons les épisodes précédents. Les scolytes sont des insectes ravageurs favorisés par la chaleur et qui apprécient les arbres stressés. Les vagues de chaleur vont gagner en fréquence et en intensité suite au changement climatique. Les arbres sont stressés par la chaleur et par le déficit hydrique qui l'accompagne mais aussi après avoir été déstabilisés par le vent.

L'équation est donc posée :

**scolytes + chaleur + essences sensibles + arbres stressés = dégâts importants.**

Inutile donc de se cacher la réalité. Il faut plutôt se préparer à affronter des « crises de scolytes » qui seront plus fréquentes, mais sans céder à la fatalité et sans baisser les bras.

Examinons tout d'abord les termes de l'équation.

► **Les scolytes** sont des insectes autochtones qui font partie de l'écosystème et qui ont bien sûr leur utilité en tant que régulateurs. Comme tous les parasites de faiblesse, ils jouent le rôle de « charognards » en éliminant les arbres affaiblis. Leur prolifération est le révélateur d'un déséquilibre. Inutile de chercher à les supprimer. On aurait d'ailleurs du mal, car les méthodes actives sont extrêmement limitées en forêt. Les traitements insecticides des tas de bois sont d'efficacité limitée dans

les grandes épidémies et voués de toute façon à disparaître face à l'interdiction des produits phytosanitaires. Les pièges à phéromones ne sont plus depuis longtemps considérés comme susceptibles de limiter une épidémie. Par contre, **est-il possible de jouer sur les équilibres biologiques pour contrôler (partiellement) les populations ?**

► La chaleur et la sécheresse qui accompagne la chaleur sont des facteurs déclenchants des épidémies. Nous avons vu précédemment que les canicules seront plus fréquentes suite au changement climatique (pour les tempêtes, la question n'est pas tranchée). Il n'est pas possible de les supprimer, tout au plus les limiter en réduisant les émissions de gaz à effet de serre : c'est là un autre problème qui dépasse l'échelle du sylviculteur. Mais peut-être **y a-t-il moyen de limiter l'exposition des arbres à la chaleur ?**

► **Les essences sensibles** sont essentiellement des résineux. Les épicéas sont attaqués par le typographe et le chalcographe, les pins par le sténographe, les sapins par le curvidenté. En cas de forte épidémie, d'autres résineux peuvent être affectés (douglas...). Les feuillus ont aussi leurs scolytes mais à comportement rarement épidémique. Les scolytes étant tout de même inféodés à des hôtes bien précis, **peut-on limiter leur propagation en compliquant leur accès aux arbres sensibles ?**

### Vidéo



<https://france3-regions.francetvinfo.fr/grand-est/moselle/metz/crise-du-scolyte-lorraine-2019-pire-que-tempete-1999-1723963.html>

**Figure 1** - Le cléron formicaire (*Thanasimus formicarius*) : un mercenaire redoutable à recruter dans la guerre contre les scolytes ?



© J.-P. Warzee

**Figure 2** - Quelques îlots de biodiversité favorisent les antagonistes des scolytes.



© DSF

► **Le stress des arbres** est certainement le facteur le plus régulable par les différents moyens préventifs dont dispose le sylviculteur. **Comment limiter le stress hydrique d'un arbre ou augmenter la résilience globale du peuplement ? Comment limiter parallèlement la sensibilité aux chablis ?**

Nous allons analyser successivement ces différents points. Nous ne parlerons pas ici de la gestion de crise qui est un autre sujet et qui consiste à tenter de contrôler la propagation de l'épidémie une fois qu'elle est déclenchée : abattages à bon escient, évacuation rapide des bois, traitement des rémanents... Cet aspect est traité dans le guide des forêts en crise sanitaire (Gauquelin, 2010), en cours de réécriture. Nous nous concentrerons sur les aspects préventifs, essentiellement sylvicoles.

### Comment lutter contre les scolytes ?

La nature est (en général) bien faite. **Les scolytes sont régulés dans l'écosystème par des prédateurs et des parasites** nombreux qui sont souvent d'ailleurs des insectes. Certains consomment directement les adultes ou les larves (fourmis, coléoptères...), d'autres, les **parasitoïdes**, pondent leurs œufs dans les larves ; ce sont généralement des hyménoptères semblables à de petites guêpes (ichneumons, chalcidiens).

Ainsi, depuis 20 ans, on arrive à réguler tant bien que mal le **dendroctone de l'épicéa**, scolyte invasif arrivé de l'est, par un autre coléoptère prédateur, le *Rhizophagus grandis*. Certains passionnés ont réussi à mettre au point

des techniques d'élevage de ce prédateur et font régulièrement des lâchers de rhizophagus sur le front d'avancement du dendroctone. Cet exemple est souvent cité comme un des seuls cas réussis de lutte biologique en forêt.

Pour le **typographe**, c'est plus compliqué. Il existe un autre coléoptère, le **cléron formicaire**, bien étudié par nos collègues belges, qui peut se repaître de quelques 200 scolytes durant sa vie. On ne sait pas l'élever mais on peut favoriser sa présence car il a besoin d'écorces épaisses de pin pour le bon déroulement de son cycle de développement. De nouvelles recherches sur ces domaines sont à développer.

Par ailleurs, les plantations pures et denses sont réputées pour être des déserts biologiques dans lesquels la végétation disparaît rapidement. Or, **une bonne biodiversité** est le support indispensable de tous les organismes qui régulent les populations de scolytes (présence par exemple de fleurs nectarifères pour les hyménoptères parasitoïdes). La sylviculture a donc ici un rôle à jouer (voir plus loin).

Un autre moyen indirect de lutter contre les scolytes est de **multiplier les barrières jusqu'aux arbres** afin de perturber les vols, la recherche des arbres cibles et les messages émis par les scolytes pionniers pour attirer leurs congénères. Des peuplements mélangés, pied à pied ou par parquets ou petites parcelles, avec des essences peu sensibles (feuillus) peuvent être une bonne solution. Le mélange intime est difficile à gérer mais des **bandes de feuillus** cloisonnant des

Figure 3 - Plantation dense d'épicéa à basse altitude : à éviter à l'avenir ?



© P. Léchêne

peuplements d'épicéa sont certainement envisageables. Ces techniques sont sérieusement étudiées pour le pin maritime dans les Landes. Par ailleurs, **certains feuillus émettent des composés olfactifs répulsifs pour les scolytes des résineux.**

**Conseils** : privilégions les mélanges d'essences pins/épicéas, pied à pied ou par petites parcelles, pour favoriser le cléron. Multiplions les bandes de feuillus cloisonnant les peuplements au moment de la plantation et évitons de grandes étendues monospécifiques d'épicéas denses sans végétation au sol.

### Que faire face à l'augmentation des températures ?

À son niveau, le sylviculteur ne peut réguler l'augmentation générale des températures. Il sait que chaque essence a un optimum écologique et il doit s'interroger sur celui de l'épicéa. Cette essence en France est au départ montagnarde, mais sa plasticité et sa bonne faculté de reprise ont incité à l'installer dans une zone très vaste, qui dépasse son aire naturelle initiale, notamment à basse altitude.

La variation du climat, que nous avons décrite dans notre deuxième partie, sanctionne cet état de fait et explique en partie l'ampleur des dégâts. L'épicéa doit aujourd'hui, et de plus en plus, affronter des vagues de chaleur et un stress hydrique qui ne lui conviennent pas, cumulés avec une multiplication des géné-

rations de scolytes. Il semble donc bien que l'essence soit condamnée en plaine, où il avait déjà bien régressé suite aux sécheresses et aux attaques de pourridiés racinaires comme le fomès, mais aussi aux plus basses altitudes. On évitera donc l'épicéa aux étages collinéen et montagnard inférieur (par exemple au-dessous de 500 m dans les Vosges, 700 m dans le Jura, 900 m dans les Alpes du Nord).

L'épicéa est par ailleurs souvent présenté dans les manuels comme une **essence de demi-ombre**, mais sa faculté d'adaptation a permis de le planter en plein découvert, ce qui augmente son exposition à la chaleur en supprimant l'ambiance forestière pendant quelques années. Nous ne développerons cependant pas ici l'aspect plantation. Par contre **sa capacité à supporter la concurrence a souvent conduit à le planter très serré** ce qui accroît sa sensibilité au stress hydrique, nous y reviendrons plus loin. Les peuplements denses non éclaircis sont donc particulièrement sensibles en cas de canicule et constituent des proies faciles pour les scolytes. Malheureusement l'éclaircie tardive est aussi un facteur de stress important pour les arbres pendant quelques années.

**Conseils** : remontons l'épicéa dans ses montagnes et appliquons une sylviculture qui limite le stress hydrique en réduisant la concurrence (plus faibles densités, éclaircies précoces).

## Faut-il changer d'essence ?

Face aux millions de m<sup>3</sup> d'épicéa qui disparaissent à chaque épidémie importante de scolytes, le sylviculteur a tendance à baisser les bras. Et on le comprend. Avoir planté et suivi son peuplement pendant plusieurs dizaines d'années pour le voir ravagé en quelques semaines et perdre ainsi tout son investissement, est désespérant. Faut-il recommencer et replanter de l'épicéa sachant que le risque ne peut qu'augmenter à l'avenir ?

La réponse à cette question est délicate. Un sylviculteur de résineux va évidemment penser à d'autres résineux, au premier rang desquels **le douglas**. Ce dernier présente de nombreux avantages (croissance, qualité du bois...) et, lorsque la station lui convient, se montre pour l'instant moins sensible aux dégâts biotiques que l'épicéa. La substitution a d'ailleurs commencé depuis bien des années pour d'autres raisons (meilleure résistance aux tempêtes notamment), en particulier dans le Massif central. Cette tendance inquiète les utilisateurs d'épicéas qui sont habitués à cette ressource qui a de multiples avantages et qui occupe un créneau bien valorisé : une reconversion n'est pas toujours simple.

On peut cependant faire plusieurs remarques pour aider à la réflexion sur le choix de la substitution. D'une part, **le douglas n'est pas indemne de maladies** et le développement récent de certains champignons et insectes défoliateurs commence à inquiéter. L'avenir est incertain : une première erreur serait de tout miser sur une seule essence et de l'introduire sur de grandes surfaces, amplifiant les effets potentiels de tout aléa futur qui pourrait survenir. Par ailleurs, nous l'avons dit, chaque essence a son optimum écologique et celui du douglas n'est pas celui de l'épicéa. Si le douglas est sans doute moins exigeant en eau, il **présente parfois lui aussi des signes de dépérissement en plaine et au-dessous de 600-800 m**, qui ont presque à chaque fois pour origine des sécheresses...

Il est donc prudent, lorsqu'on le peut, de **multiplier les essences** (sans aller jusqu'à l'émiettage), même si leur rentabilité théorique annoncée est plus faible que celle de l'épicéa, afin de faire jouer la théorie de l'assurance (diversifier ses investissements). Évidemment, cela complique la gestion.

**Conseils** : remettons les essences à leur place en tenant compte du sol et du climat. Introduisons aux plus basses altitudes diverses

essences dont le douglas mais aussi d'autres résineux et feuillus. Limitons les surfaces d'une seule essence d'un seul tenant pour diluer les risques sur une même propriété.

## Comment limiter le stress ?

Les canicules (fortes chaleurs) et les sécheresses (manque d'eau) sont en général associées. Il est aujourd'hui démontré par les chercheurs que le stress hydrique est fortement lié à la surface foliaire, source de l'évapotranspiration, et donc à la densité du peuplement<sup>1</sup>. **Les peuplements clairs, qu'on peut caractériser par un couvert à peine fermé, présentent donc toujours un meilleur bilan hydrique.**

Ces peuplements ont plusieurs atouts lorsqu'une sécheresse survient. Ils y résistent mieux car la concurrence avec leurs voisins pour une ressource en eau limitée est plus faible et, d'autre part, étant moins stressés, ils envoient moins de messages d'alerte aux scolytes. Enfin, si ceux-ci surviennent, ils sont physiologiquement plus à même de se défendre.

Il semblerait donc qu'il faille, autant que possible, réajuster la sylviculture de l'épicéa. L'exemple allemand, caractérisé par ses peuplements hyper denses, qui fut souvent un modèle historique dans l'Est, présente aujourd'hui à l'évidence des inconvénients qui le rendent inadapté aux changements climatiques en cours. Il se trouve que ces peuplements denses, surtout s'ils sont l'objet d'éclaircies tardives, sont aussi particulièrement sensibles aux tempêtes, second facteur déclenchant des crises de scolytes. Ils sont de plus des déserts biologiques, ce qui ne favorise pas la biodiversité nécessaire aux antagonistes des scolytes, comme nous l'avons vu plus haut.

**Une sylviculture dynamique** avec de plus faibles densités de plantation (moins de 1 500 plants/ha) et des éclaircies fortes précoces avant 12 à 15 m de haut semble, comme pour d'autres essences, une précaution pour l'avenir. Elle aboutit en outre à la réduction de la durée de révolution, ce qui peut dans une certaine mesure limiter leur exposition au risque. Évidemment, cela modifie les habitudes des sylviculteurs, mais surtout des scieurs qui préfèrent les peuplements serrés dont les arbres ont des cernes fins et des branches fines. Cependant, les choix sont limités si l'on ne veut pas récolter à terme une majorité d'arbres dépérissants. On comprend que la concurrence avec les épicéas

<sup>1</sup> Bertin et Perrier, 2016.

Figure 4 - Peuplement irrégulier et mélangé épicéa-sapin, attaqué par le typographe



L.-M. Nagelisen © DSF

*Les sapins et les jeunes épicéas, peu sensibles, ont résisté et permettent de renouveler le peuplement (Val de Senones, Vosges).*

nordiques à cernes fins ou bientôt les résineux russes ne simplifie pas le problème mais ces derniers ne subiront pas ou plus tardivement notre évolution climatique. Il est donc difficile de les prendre comme modèle sylvicole, sachant qu'économiquement leurs coûts de production seront toujours plus faibles que les nôtres...

Les peuplements clairs auront une branchaison qu'on peut en partie contrôler par un **sous-étage feuillu** qui présente aussi l'avantage de faire barrage aux scolytes. Mais il faut reconnaître que, pour l'épicéa, à couvert naturellement dense, ce sous-étage est difficile à installer et à maintenir. Les branches peuvent aussi être éliminées sur les 6 premiers mètres par **l'élagage artificiel** avant qu'elles ne grossissent. Mais se pose alors la question de la rentabilité de l'investissement face à un débouché de niche dont l'avenir est mal connu. Les peuplements clairs auront aussi une croissance plus rapide, mais une largeur de cerne de 4 à 6 mm reste tout à fait correcte pour la plupart des utilisations.

Une autre solution est de considérer l'épicéa comme un **élément parmi d'autres de peuplements mélangés et/ou irréguliers**, auxquels son tempérament de demi-ombre se prête bien. Il est d'ailleurs une des composantes historiques de la futaie jardinée née dans les massifs de l'Est au XIX<sup>e</sup> siècle. On ne mise plus là uniquement sur la résistance de l'essence à l'aléa, mais sur la résilience glo-

bale du peuplement. L'existence de plusieurs étages d'âges différents permet souvent de ne pas tout perdre d'un coup et de reconstituer plus facilement le peuplement à partir des strates jeunes et de quelques semenciers survivants. D'ailleurs, les dégâts ponctuels, de vent, de sécheresse ou d'insectes, laissant des peuplements mités (de surface terrière inférieure à 25 m<sup>2</sup> par exemple), incitent souvent à embrayer sur un itinéraire technique irrégulier.

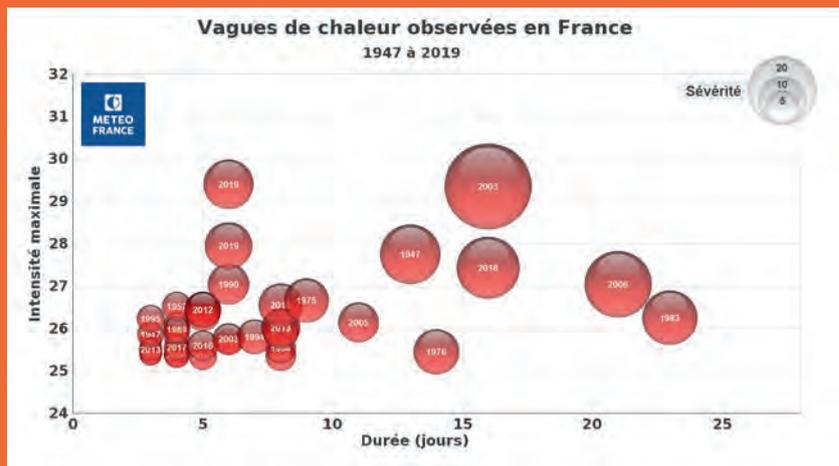
**Conseils** : la sylviculture dense d'épicéa sur de grandes surfaces génère des peuplements fragiles et doit être reconsidérée. Les solutions sont multiples : sylviculture dynamique, mélanges, irrégulier, alternance des essences sur petites surfaces... mais présentent toutes leurs avantages et leurs inconvénients. Le sylviculteur devra faire preuve de perspicacité pour gérer l'incertitude dans son contexte particulier. Il n'y a pas de solution miracle.

## Conclusion générale

La crise des scolytes de 2018-2019, toujours en cours, n'est pas la première et ne sera pas la dernière. La plus mauvaise solution est de se mettre la tête dans le sable et, après exploitation, de replanter à l'identique alors qu'à l'évidence les conditions environnementales, au premier rang desquelles le climat, changent à grande vitesse. De multiples solutions d'adaptation sont possibles, même si elles sont, pour certaines, techniquement

## Après la canicule de 2018, les deux canicules de 2019 !

Cet article, écrit en juin 2019, laissait planer le doute pour l'été. En octobre 2019, la réalité est là : ce n'est pas une mais deux canicules que le pays a connu, du 25 au 30 juin puis du 21 au 26 juillet, avec des records absolus de températures battus : les 40, voire localement 43°C ont été dépassés ! Le graphique à bulles de Météo France actualisé (par rapport à celui du Forêt-entreprise n° 248 p. 58), inclut ces canicules, moins longues mais aussi intenses que celles de 2003 et 2018.



Frédéric Delport, chef du DSF tire pour nous les conséquences forestières de ces deux années exceptionnelles :

- Les signalements de dégâts dus à la sécheresse effectués par les correspondants observateurs du DSF ont augmenté de 60 % par rapport à 2018 soit plus de 6 fois le niveau d'une année normale.
- L'épidémie de scolytes sur épicéas s'est poursuivie en Grand Est et Bourgogne Franche-Comté et s'est étendue dans l'Ain, le Limousin, les Hauts-de-France, la Normandie, l'Auvergne et les Alpes. Le sapin a été touché à son tour dans les Vosges et le Massif central, surtout à basse altitude. Les volumes scolytés ne sont pas encore connus mais sont estimés en 2019 à au moins le double de ceux de 2018 (qui dépassaient déjà 1 million de m3). Plus inquiétant car plus nouveau, des dépérissements de hêtres ont été signalés en Franche-Comté et dans le Grand-Est. Les pins sylvestres ont également été la proie de parasites de faiblesse (champignons ou insectes). D'autres essences sont ponctuellement affectées (douglas, mélèze, châtaignier, robinier, charme). Les chênes, réagissant plus lentement, feront l'objet d'une enquête cet hiver. Les premiers résultats de l'enquête sur les plantations montrent un très mauvais taux de réussite, entre ceux de 2015 (pire année depuis 10 ans) et de 2018.

complexes. Il ne s'agit plus aujourd'hui de rechercher la sylviculture la plus rentable économiquement (les calculs économiques sont en général faits sans prendre en compte les risques !), mais celle qui maintiendra le plus longtemps la pérennité de la forêt. Dans ce contexte, l'adaptation aux stations et la diversification (des essences, des itinéraires techniques...) deviendront les mots clefs à garder à l'esprit. ■

### LE SAVIEZ-VOUS

Le réchauffement climatique et notamment les canicules actuelles favorisent l'émergence de crises de scolytes sur certains résineux. Les peuplements monospécifiques sur de grandes surfaces sont déconseillés. Le mélange ou la diversification d'essences, ainsi qu'une gestion dynamique en peuplement clair sont des solutions possibles, à condition que les essences soient bien en station.

Mots-clés : crise des scolytes, climat, recommandations de gestion.

Remerciements à L.-M. Nageleisen, F.-X. Saintonge (DSF) ainsi qu'à P. Léchine (CRPF Bourgogne Franche-Comté) pour leur relecture attentives.

### Références bibliographiques (pour les trois parties) :

- Bertin S. et Perrier C. (coord.), 2016. *Le bilan hydrique des peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et techniques, implications pour la gestion*. Éd. IDF RMT AFORCE ; 190 p.
- Département de la santé des forêts du ministère de l'Agriculture : toutes les informations, fiches, bilans etc. sur scolytes et sécheresses entre autres : <https://agriculture.gouv.fr/la-sante-des-forets>
- Gauquelin, X., 2011. *Guide de gestion des forêts en crise sanitaire*. Éd. ONF/IDF, 97 p.. Disponible sur le site du Réseau Aforce.
- GIEC 2014 - IPCC 2014. *Climate Change 2014 : The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. Right, Climatic Research Unit, University of East Anglia. Traduction partielle [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)
- Global Carbon Budget, 2018. <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>
- Hansen, J. et al., 2013. Reply to Rhines and Huybers : Changes in the frequency of extreme summer heat, PNAS, 110, N° 7, E547-E548.
- Mélières M.-A. et Maréchal C, 2015. *Climats : passé, présent et futur*. Éd. Belin, 392 p 200 fig. couleur – épuisé sera réédité en 2020 En anglais: «Climate Change : Past, Present and Futur», 2015. Éd. Wiley-Blackwell.
- Météofrance : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/bilan-2018/bilan-climatique-de-l-ete-2018>
- Nageleisen L.- M., Piou D., Saintonge F.-X., Riou-Nivert P., 2010. *La santé des forêts. Maladies, insectes, accidents climatiques... Diagnostic et prévention*. Éd. IDF DSF, 608 p.
- NASA : <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

# Aforce, 10 ans d'expertise forestière

Par Céline Perrier, CNPF-IDF et Olivier Picard, CNPF

S. Gaudin © CNPF

**E**n 2019, le réseau Aforce, réseau mixte technologique (RMT) consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique fête ses 10 ans d'existence.

En 10 ans, ce sujet a mûri et avancé. Les enjeux associés au changement climatique et son vocabulaire très spécifique commencent à être maîtrisés (aléas, risques, vulnérabilité, scénarios, etc.). Il y a une véritable appropriation par tous les forestiers.

La prise de conscience du changement climatique et de ses conséquences pour la forêt sont aujourd'hui quasi généralisées auprès des décideurs forestiers. C'est ce que reflètent les résultats des enquêtes menées dans le cadre du projet Maaclif<sup>1\*</sup>.

La connaissance des évolutions du climat se précise, les outils pour comprendre et mesurer l'ampleur et la vitesse de ces évolutions sont plus nombreux et accessibles (Drias<sup>2</sup>, Climat HD<sup>3</sup>, etc.) Le cadre évolue aussi avec la révision à venir des Schémas Régionaux de Gestion Sylvicoles (SRGS), l'édition d'un nouveau Plan National d'Adaptation au Changement Climatique<sup>4</sup> (PNACC), etc. Il n'est plus possible de faire abstraction de cette problématique et le rôle que doit jouer le forestier se précise davantage chaque année.

Si le réseau avait concentré dans un premier temps ses actions sur la compréhension et l'anticipation des impacts du changement climatique, les questions portent plutôt aujourd'hui sur les solutions pour s'adapter,

même si le besoin de comprendre est encore très fort. Malgré les avancées de la recherche et de la Recherche & Développement, de nombreuses questions, notamment autour des vulnérabilités, restent encore sans réponse. Ce chantier reste donc ouvert, alors qu'un nouveau voit le jour : il s'agit de l'identification de mesures d'adaptation. Elles doivent être diversifiées, adaptées au contexte spécifique de la forêt concernée et impliquer le moins de compromis possible sur les services rendus par la forêt (production, biodiversité, récréation, atténuation, etc.) et sur l'accompagnement à leur mise en place.

En effet, le passage à l'action est encore timide, comme en témoignent les résultats du projet Maaclif<sup>1\*</sup>. C'est certainement dû aux incertitudes qui perdurent. Il faut pourtant faire avec. Nous n'aurons jamais une parfaite visibilité des évolutions qui attendent la forêt mais les tendances sont aujourd'hui trop marquées pour rester dans l'immobilisme. Il faut avancer, même en se trompant, et en essayant de ne pas avoir de regrets. Il faudra de toute façon faire des choix. Il faut aussi accueillir les innovations (PINNS<sup>5\*</sup>), participer aux tests, à l'expérimentation en réseau (Esperense<sup>6\*</sup>). Peut-être aura-t-on finalement tendance à moins attendre de la recherche la solution parfaite, et à avancer.

Le travail collaboratif a fait ses preuves : circulation accélérée des connaissances, meilleure formulation des besoins, mutualisation des moyens d'expérimentation et d'expertise,

## Sommaire

- 14 Projets soutenus par le RMT Aforce
- 15 Présentation du RMT Aforce
- 16 Évolution du climat...
- 20 État de la mobilisation des forestiers face au changement climatique
- 24 Un réseau collectif d'évaluation du potentiel d'adaptation des essences...
- 27 Pré-cartographie des stations forestières sur le Nord-Ouest de la France
- 30 Dépérissement du Pin sylvestre et outils d'aide à la gestion
- 33 Un outil en ligne pour accompagner le choix des essences forestières...
- 35 Évolution des risques forestiers...
- 39 Évaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation
- 40 Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection
- 41 Quelles pratiques sylvicoles pour l'adaptation des forêts au changement climatique ?
- 43 Améliorer la capacité du chêne sessile à répondre à des sécheresses extrêmes...
- 46 Agir sur la sensibilité à la sécheresse par la sylviculture
- 49 Un outil de simulation...
- 52 Processus d'innovation technologique...
- 54 Au-delà d'Aforce, d'autres initiatives
- 56 Aforce, l'expertise collective au service des acteurs régionaux



Louise Brunier,  
Chargée de mission  
RMT AFORCE au  
CNPF-IDF



Céline Perrier,  
animatrice du  
réseau AFORCE,  
CNPF-IDF



Olivier Picard,  
coordinateur du  
réseau AFORCE,  
CNPF



En savoir<sup>+</sup>

[www.reseau-aforce.fr](http://www.reseau-aforce.fr)



actions concertées, évaluation collective des cas de crise, etc. L'intelligence collective est mise à profit... comme une garantie de moins se tromper... ? L'objet de ce dossier est de mettre en avant les résultats de ce travail collaboratif mené au sein du réseau Aforce. Il est d'abord remis dans son contexte : état des lieux de l'évolution du climat et de la politique nationale mise en place autour de cette thématique, et mobilisation des forestiers autour de cet enjeu. Ces travaux et résultats d'Aforce sont ensuite présentés autour de 3 questions qui structurent aujourd'hui le programme de travail du réseau :

**- Comment mieux choisir les essences et provenances de demain ?**

De quelles connaissances disposons-nous pour bien choisir les ressources génétiques à installer ou à privilégier dans les peuplements (Caravane<sup>7\*</sup>) ? Doit-on mettre en place des tests pour évaluer les potentialités de certaines essences et provenances atypiques ou au comportement méconnu sur le territoire (Trec, Esperense<sup>6\*</sup>) ? Les essences en place ont-elles un avenir dans les conditions climatiques et stationnelles dans lesquelles elles sont installées (Esperense, Prestation-No<sup>8\*</sup>, Sylforclim<sup>9\*</sup>, Iksmaps<sup>10\*</sup>) ?

**- Comment prendre en compte les risques liés au changement climatique ?**

Quels outils développer pour assurer une meilleure surveillance de l'état sanitaire des peuplements et être en mesure de détecter plus rapidement et efficacement d'éventuels dépe-

rissements (Casteldiag<sup>11\*</sup>) ? Comment évaluer le poids respectif des différents risques et anticiper les effets de leur interaction (Multirisks<sup>12\*</sup>) ?

**- Quelles sont les pratiques sylvicoles à privilégier pour l'adaptation des forêts au changement climatique ?**

Comment augmenter la capacité adaptative des peuplements (IGS<sup>13\*</sup>) ? Comment réduire leur vulnérabilité (éclaircir, raccourcir les révolutions, mélanger les essences, diversifier la structure des peuplements...) (Adarex<sup>14\*</sup>) ? Quelles sont les limites de certaines recommandations préexistantes : sont-elles généralisables à d'autres essences, à d'autres régions... (Redsurf<sup>15\*</sup>) ? Dans quelles conditions spécifiques peuvent-elles être mises en œuvre ? À la veille d'une demande de poursuite du RMT, ce dossier livre ainsi les premiers résultats de six nouvelles années de collaboration et d'expertise collective au sein du réseau Aforce (2014-2019). Vous retrouverez tous ces résultats d'ici la fin 2019 sur notre site Internet ([www.reseau-aforce.fr](http://www.reseau-aforce.fr)).

Nous espérons que vous ferez de belles découvertes à la lecture de ce dossier !

Toutes les productions de ce dossier sont issues de projets multipartenaires soutenus par Aforce dans le cadre de ses trois derniers appels à projets. Ils ont bénéficié dans ce cadre d'un financement du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et de l'interprofession France Bois Forêt. Certains ont également reçu une aide complémentaire par le Labex Arbre, gérée par l'Agence nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence n° ANR-11-LABX-0002-01.

<sup>1</sup> Se reporter au tableau p. 14. Cf. article p. 20.

<sup>2</sup> Drias les futurs du climat, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés. Pour en savoir plus : <http://www.drias-climat.fr/>

<sup>3</sup> Application de Météo-France permettant de suivre les changements climatiques passés et futurs. Pour en savoir plus : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>

<sup>4</sup> Cf article p. 16.

<sup>5</sup> Cf. article p. 52.

<sup>6</sup> Cf. article p. 24.

<sup>7</sup> Cf. article p. 33.

<sup>8</sup> Cf. article p. 27.

<sup>9</sup> Cf. article p. 30.

<sup>10</sup> Cf. article 33.

<sup>11</sup> Cf. article p. 40.

<sup>12</sup> Cf. article p. 39.

<sup>13</sup> Cf. article p. 49.

<sup>14</sup> Cf. article p. 43.

<sup>15</sup> Cf. article p. 46.

Année	Acronyme	Les projets soutenus par le RMT AFORCE depuis sa création	Coordinateur	Organisme
2009	IVALRU	Comparaison de différentes méthodes d'évaluation de la réserve en eau utile maximale des sols forestiers	Jean-Paul Nebout	CNPF-CRPF Auvergne
2009	GERCRISAN	Guide de gestion des forêts en crise sanitaire	Xavier Gauquelin	ONF
2009	BILJOU©	Outil de calcul et d'interprétation des flux d'eau et du bilan hydrique à l'échelle des peuplements	André Granier	INRA
2009	PRATIQUXP	Guide de l'expérimentation forestière	Eric Paillassa	CNPF-IDF
2010	CARTOBILHY	Cartographie de l'évolution de la contrainte hydrique en contexte de réchauffement climatique	Christian Piedallu	AgroParisTech
2010	VULNERABIES	Quelles ressources génétiques au sein du genre Abies pour faire face aux changements climatiques ?	Hendrik Davi	INRA
2010	ESSHABITAT	Valorisation des stations et des habitats forestiers - Guide de reconnaissance et de gestion pour la région Centre	Eric Sevrin	CNPF-CRPF Centre Ile-de-France
2010	VALEXPE-CEDRE	Le Cèdre en France face au changement climatique : bilan et recommandations	Francois Courbet	INRA
2011	ARCHI	Indicateurs architecturaux de la réponse des arbres aux modifications climatiques	Sylvie Sabatier, Cirad	CIRAD
2011	DENSISAP	Sylviculture adaptative pour le sapin pectiné dans l'arrière-pays méditerranéen – Constitution d'un réseau d'essais	Jean Ladier	ONF
2011	NOMADES	NOuvelles Méthodes d'Acclimatation Des Essences forestièreS	Hervé Le Bouler, CNBF	CNBF
2011	TRAITAUT	TRAIts de vie et AUTécologie des espèces forestières	Guy Landmann & Alice Michelot, GIP Ecofor Myriam Legay, ONF et Sophie Gachet, Université Paul Cézanne	GIP ECOFOR
2011	ECODOUG	En quoi l'analyse économique permet-elle d'informer les choix de gestion sous incertitude climatique ? Étude pilote sur le cas du Douglas	Marielle Brunette	INRA
2011	OPTIMELANG	Quelles essences favoriser dans les peuplements mélangés réguliers pour augmenter la résistance et la résilience des arbres au climat et à ses aléas ?	François Lebourgeois	AgroParisTech
2012	VALORES0	Valorisation commune des réseaux d'essais pour caractériser le comportement des essences en réponse au climat	Myriam Legay	ONF
2013	IFASYL	Indice foliaire et adaptation de la sylviculture : accompagner l'appropriation de l'indice foliaire par les forestiers et sa prise en compte dans une sylviculture économe en eau	Nathalie Breda	INRA
2013	PILOTE	Évaluation de nouvelles techniques de plantation limitant la concurrence pour l'eau, en prévision de conditions futures plus sèches	Catherine Collet	INRA
2014	EASYFORCLIM	Economie de l'adaptation sylvicole des forêts au climat	Jean-Luc Peyron	GIP ECOFOR
2015	PRESTATION N0	Prédiction spatiale des stations forestières dans le Nord-Ouest de la France	Florentin Madrolles	CNPF-CRPF Normandie
2015	IKSMAPS 1	Production de cartes pré calculées d'évolution des aires climatiques des principales essences de la foresterie française à l'aide du modèle IKS	Myriam Legay	ONF
2015	SYLFORCLIM	Forêts méditerranéennes et alpines face aux changements climatiques en Provence-Alpes-Côte d'Azur	Pauline Marty	CNPF-CRPF PACA
2015	CARAVANE	CAtalogue RAisonné des VAriétés Nouvelles à Expérimenter	Brigitte Musch	ONF
2015	MULTIRISKS	Evaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation	Hervé Jactel	INRA
2015	TREC	Transfert Raisonné en EspèCes introduites	Patrice Brahic	ONF
2016	IGS	Évaluation des impacts génétiques de pratiques sylvicoles pour l'adaptation	François Lefèvre	INRA
2016	CASTELDIAG	Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection : exemple du châtaignier en Dordogne	Michel Chartier	CNPF-IDF
2016	ADAREEX	Adaptation de la gestion aux changements climatiques : une étude dendroécologique sur le chêne sessile à partir de réseaux d'expérimentations sylvicoles à long terme	François Lebourgeois	AgroParisTech
2016	MACCLIF	Prise en compte des Mesures d'Adaptation au Changement CLImatique par les gestionnaires Forestiers	Annabelle Amm	GIP ECOFOR
2017	IKSMAP 2	Production de cartes pré calculées d'évolution des aires climatiques des principales essences de la foresterie française à l'aide du modèle IKS	Myriam Legay	ONF
2017	REDSURF	Evaluation des effets d'une réduction de densité des peuplements et des effets d'un changement de répartition de la surface foliaire au sein d'une même parcelle après intervention sur la sensibilité des arbres à la sécheresse.	François Courbet	INRA
2017	PINNS	Le processus d'innovation technologique en sylviculture (adoption et utilisation): exemple des outils mécaniques de préparation du sol avant plantation.	Catherine Collet	INRA
2018	ESPERENSE	Création d'un réseau national multipartenaire d'évaluation de ressources génétiques forestières pour le futur	Céline Perrier	CNPF
2018	PROSPECTIVES	Exercices de prospectives afin de proposer des chemins d'adaptation des forêts en région	Olivier PICARD	CNPF

# RMT AFORCE

\* Nom : AFORCE  
 Adaptation des Forêts au Changement Climatique  
 \* Date de création : 2009  
 \* Coordination : Olivier PICARD et Céline PERRIER, CNPF

AFORCE a été créé en 2009 sous l'impulsion des forestiers et fort du constat que le changement climatique était devenu un sujet à enjeu majeur pour l'avenir des forêts nécessitant :

- un **transfert** rapide et une mise à jour fréquente des connaissances,
- des **actions concertées** et coordonnées,
- des **recommandations** claires, étayées, convaincantes et efficaces, pour agir de manière adéquate en contexte incertain et risqué

## Un réseau

AFORCE, coordonné par le CNPF, regroupe 17 partenaires impliqués dans le transfert des connaissances vers les gestionnaires.



Qu'est-ce qu'un RMT ?

### Un partenariat mixte

Les RMT sont des formes innovantes de partenariat associant recherche, développement, formation et gestion.

### Collaborer pour innover

Par la mise en commun de ressources humaines et matérielles, ils favorisent la réalisation de travaux collaboratifs pour aboutir à des productions innovantes et d'intérêt collectif.

### Suivi et évaluation

Ils sont régulièrement évalués sous l'égide du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

## > pour accompagner les forestiers

- Créer des lieux d'échange et de collaboration
- Produire des outils pour guider le diagnostic et la décision
- Mobiliser l'information et la faire circuler vers les professionnels
- Coordonner les initiatives, consolider les résultats obtenus
- Favoriser l'émergence de projets communs
- Formuler des questions à la recherche
- Encourager l'expertise collective et le partage d'expérience
- Fournir des outils, des contenus de formations, des protocoles
- Promouvoir de nouveaux services et accompagner leur utilisation



## 10 ans d'actions pour l'adaptation

- **25 évènements**  
*Colloques de restitution des résultats*  
*Ateliers thématiques, ateliers régionaux et internationaux*
- **7 formations**
- **33 projets**
- **Des outils phares déjà disponibles**

ARCHI, un outil d'aide au diagnostic de l'état sanitaire



Guide de l'expérimentation forestière, harmonisant les pratiques

Biljou®, un outil de calcul du bilan hydrique [appgeodb.nancy.inra.fr/biljou](http://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou)

Guide de gestion des forêts en crise sanitaire regroupant les bonnes pratiques en cas de crise ... et bien d'autres encore

- **Un site internet :**  
**[www.reseau-aforce.fr](http://www.reseau-aforce.fr)**

à toutes les échelles Le réseau s'investit en région et à l'international.

## >> dans la préparation des forêts au changement climatique

Diagnostic stationnel      Gestion de l'eau      Croissance et sylviculture      Stations forestières

Les **thématiques de travail** du réseau, liées à l'adaptation des forêts au changement climatique, sont **variées** et **évoluent** au cours du temps en fonction des besoins et des réponses déjà apportées.

Choix des essences et provenances

Evaluation économique des décisions de gestion      Nouvelles sylvicultures et innovations techniques

Conduite de la création et du renouvellement des peuplements      Vulnérabilité des peuplements



Le réseau bénéficie d'un soutien financier du ministère en charge de l'Agriculture et de l'interprofession National France bois forêt

# Évolution du climat : tendances et perspectives pour la forêt

## Quelle est la politique actuelle d'adaptation en France ?

par Jérôme Duvernoy, Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique,  
Jean-Michel Soubeyroux, Météo-France/DCSC<sup>1</sup> et Mathieu Regimbeau, Météo-France/DSM<sup>2</sup>

Face aux impacts sur la forêt et dans l'objectif de la protéger, une des actions du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 2018-2022 (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018) est de « favoriser le transfert des résultats de la recherche-expérimentation sur l'adaptation de la forêt au changement climatique ».

<sup>1</sup> Direction de la Climatologie et des Services Climatiques

<sup>2</sup> Direction des Services Météorologiques

### La forêt, enjeu des politiques publiques sur le climat

La forêt, par ses valeurs environnementales et économiques et les enjeux qu'elle porte en termes d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, est aujourd'hui identifiée comme un sujet majeur des politiques publiques nationales sur le climat. Ainsi, le Plan climat de la France (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017), dans son axe 19, intitulé « S'adapter au changement climatique », rappelle l'importance de l'enjeu :

« Le dérèglement climatique s'accélère et les impacts du changement climatique seront importants en France dans les prochaines années. Le Gouvernement s'engage pour protéger les Français et l'économie, en particulier les secteurs et les régions les plus exposés comme l'agriculture, la forêt, les régions littorales ou les zones de montagne [...] Son objectif sera de mieux protéger les Français face aux événements climatiques extrêmes, mais aussi d'adapter au mieux les principaux secteurs de l'économie (agriculture, industrie,

Carte des impacts observés et attendus en France d'ici à 2050

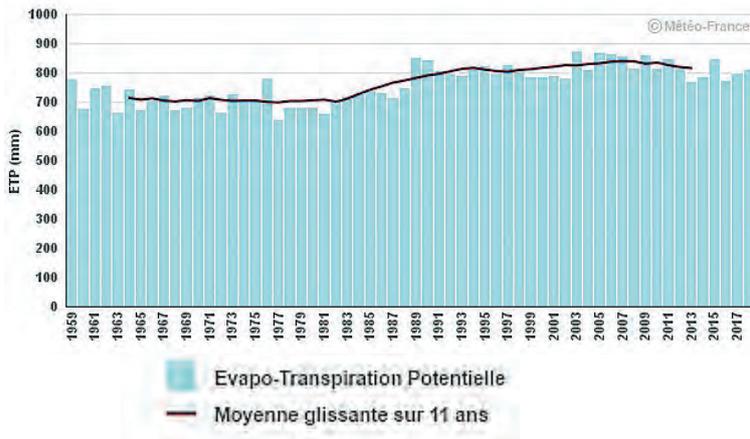


Vidéo

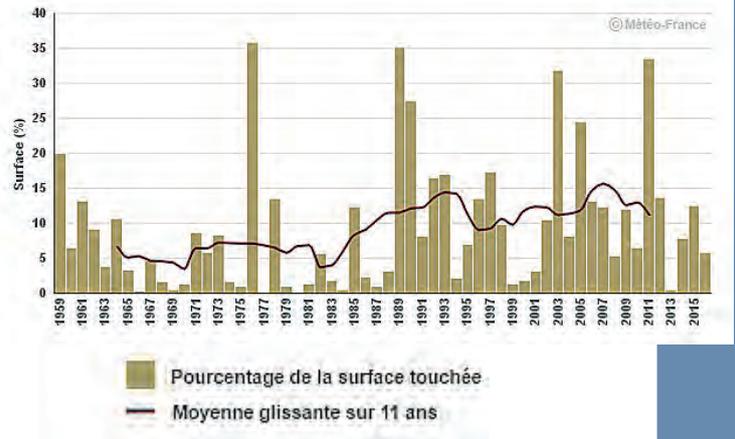


<https://viamirabelle.tv/climat-la-secheresse-menace-nos-forets-lorraines/>

**Figure 1 - Évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP) en France depuis 1959 (Source Climat HD <sup>1</sup>)**



**Figure 2 - Évolution de la surface annuelle touchée par les sécheresses du sol en France depuis 1959 (Source Climat HD)**



tourisme) aux futures conditions climatiques et d'en améliorer la résilience face aux changements attendus ». La forêt couvre environ 30 % du territoire métropolitain et est présente sous nos différents climats (océanique, continental, méditerranéen, montagnard et tropical) avec des essences variées adaptées aux caractéristiques thermiques et hydriques moyennes des territoires, mais aussi très sensibles aux événements rencontrés tels que sécheresses, vagues de chaleur, tempêtes, pluies extrêmes sans oublier les risques d'incendie (ONERC, 2014).

## Le constat du changement climatique en France

### Impacts du changement climatique observés et attendus

Les impacts observés ou attendus en France d'ici à 2050 dépendent de différents paramètres tels que le lieu, le type de relief, la vulnérabilité et la capacité d'adaptation des systèmes naturels et humains. Dans un avenir proche, le changement climatique est un facteur qui exacerbe les impacts dus aux autres pressions anthropiques directes (IPBES, 2019). Tandis que dans la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, en particulier dans des scénarios de réchauffement climatique élevé, il constituera un facteur de stress important pour les écosystèmes terrestres et d'eau douce.

### Évolution des conditions moyennes thermiques et hydriques

De 1900 à 2018, la température moyenne en métropole s'est réchauffée d'environ + 1,5 °C sur l'année avec une hausse accélérée depuis les années 1970 au rythme d'environ 0,4 °C par décennie. Ce réchauffement est légèrement plus marqué sur la période de végétation (printemps et été) avec une hausse de l'ordre de + 1,7 °C et une faible modulation régio-

nale (réchauffement plus fort sur les régions continentales que celles d'influence océanique). Cette évolution thermique se traduit également en termes d'évapotranspiration potentielle<sup>1</sup> (ETP) avec une hausse sensible du cumul annuel d'environ 100 mm entre les années 1960 et aujourd'hui (figure 1).

Pendant cette même période, le cumul annuel ou saisonnier des précipitations est resté globalement stable malgré une forte variabilité inter-annuelle à décennale. Dans ce contexte, le cycle hydrologique tend à se modifier avec un assèchement moyen des sols, notamment pendant la période de végétation avec une extension progressive de la durée des sols très secs au cœur de l'été. L'hydrologie de montagne est aussi influencée avec un enneigement plus variable à moyenne altitude et une fonte plus rapide du manteau neigeux au printemps associé à un assèchement plus marqué en fin d'été.

### Intensification des événements extrêmes

Le réchauffement global a aussi pour effet d'intensifier ce cycle hydrologique avec une évolution de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, de la variabilité des précipitations, de l'augmentation de l'intensité des pluies extrêmes et des sécheresses des sols. Ainsi, en métropole, les vagues de chaleur ont été deux fois plus nombreuses au cours des trois dernières décennies par rapport à la période antérieure tandis que la sévérité des événements s'est aggravée comme en 2003, 2018 ou encore 2019.

Les sécheresses des sols (figure 2) sont aussi devenues plus fréquentes (il y a trois fois plus de sécheresses entre les années 1960 et aujourd'hui) avec une récurrence forte d'événements intenses au niveau régional : régions méditerranéennes en 2017, quart Nord-Est du pays en 2018.

Climat HD propose une vision intégrée de

<sup>1</sup> L'évapotranspiration combine les pertes d'eau par évaporation et transpiration d'un végétal. L'évapotranspiration potentielle ETP correspond à la valeur atteinte pour une disponibilité en eau maximale en l'absence de résistance. (CNPF-IDF, 2011)

l'évolution du climat passé et futur par une synthèse des derniers travaux des climatologues accompagnée de messages clés et de graphiques permettant d'appréhender le changement climatique et ses impacts. Dans ce contexte, les conditions météorologiques propices aux feux sont devenues plus fréquentes dans les régions exposées comme les régions méditerranéennes et ont commencé à gagner d'autres régions. L'indicateur surfacique de sensibilité météorologique aux feux de forêt (figure 3), s'il atteste d'années plus sévères comme 1976 ou 2003, témoigne également d'une accentuation de l'extension spatiale de la sensibilité, avec plus du tiers du territoire concerné par de telles conditions au cours de la dernière décennie.

Les pluies extrêmes sont aussi devenues plus intenses notamment sur les régions méditerranéennes avec des conséquences sur le risque d'inondation ou d'érosion des sols (ONERC, 2018). Les risques liés aux tempêtes n'ont, par contre, pas augmenté avec une forte variabilité décennale (plus d'événements dans les années 1980 et aujourd'hui, moins dans les années 2000).

### Les évolutions attendues en climat futur

Dans les deux à trois prochaines décennies, les tendances thermiques et hydriques observées vont se poursuivre avec une hausse supplémentaire de température de + 1 °C à + 2 °C en métropole et une intensification des événements extrêmes tels que les vagues de chaleur et les sécheresses des sols.

Au-delà de 2050, l'évolution des conditions dépendra de l'impact des politiques clima-

tiques mises en œuvre. Dans un scénario tendanciel, la hausse de température pourrait atteindre + 4 °C, voire + 5 °C à + 6 °C en été avec une forte récurrence d'événements extrêmes de type vagues de chaleur pouvant durer plus d'un mois et s'étaler de fin mai à début octobre.

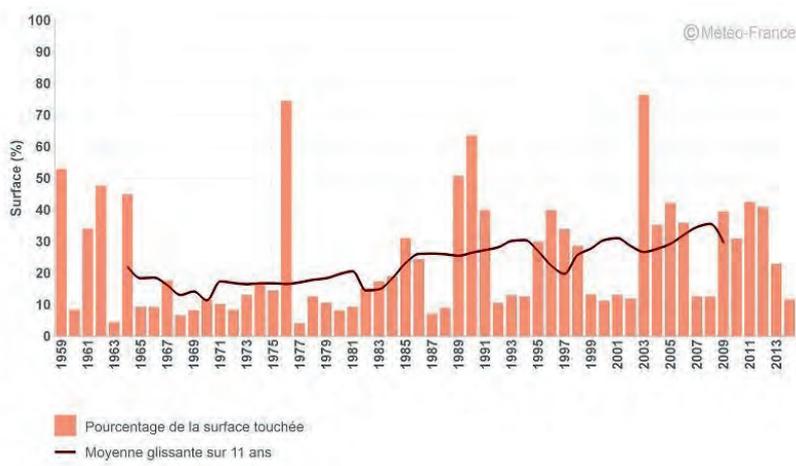
En matière de sécheresse des sols, les niveaux moyens attendus pourraient alors se situer au niveau des extrêmes observés aujourd'hui (figure 4).

### Politique nationale d'adaptation au changement climatique

Le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 2018-2022 (PNACC-2) doit mettre en œuvre les actions nécessaires pour adapter les territoires de la France métropolitaine et outre-mer aux changements climatiques régionaux attendus, d'ici 2050. En cohérence avec les objectifs à long terme de l'Accord de Paris et avec ceux pertinents des autres conventions internationales, la France devra s'adapter à la part de changement climatique que les émissions passées de gaz à effet de serre accumulées dans l'atmosphère rendent désormais inéluctable. L'hypothèse retenue est une hausse de la température moyenne mondiale de 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle. La politique nationale d'adaptation constitue donc le complément essentiel de notre politique d'atténuation du changement climatique qui vise à atteindre la neutralité carbone. Elle souhaite aussi éviter les contradictions des différentes actions d'adaptation entre elles et avec celles de protection de l'environnement. Elle reconnaît la valeur de la biodiversité et des services écosystémiques pour l'adaptation. Elle recherche, partout où cela est possible, des synergies en privilégiant les solutions fondées sur la nature<sup>2</sup>. Elle s'inscrit également dans le principe de la transition écologique et solidaire. En s'appuyant sur les recommandations issues de l'évaluation du PNACC-1 (ONERC, 2016), le PNACC-2 a été élaboré en mobilisant l'intelligence collective d'une grande diversité de parties prenantes, ce qui a permis de co-construire les actions inscrites dans ce plan. Dans le domaine forestier, ces actions devront assurer la cohérence entre le potentiel d'atténuation et d'adaptation des politiques de gestion ou de conservation forestières et de valorisation et de recyclage du bois et de la biomasse. Par exemple, un des objectifs est de concourir à la réduction du risque d'incendies et à l'accroissement de la résilience face à ce risque de manière à conserver le poten-

<sup>2</sup> Actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité. (UICN France, 2018)

**Figure 3 - Évolution de la surface annuelle concernée par une sensibilité météorologique aux feux de forêt depuis 1959**  
(Source Climat HD)



**Figure 4 - Évolution du cycle annuel de l'humidité du sol en France au XX<sup>e</sup> siècle selon un scénario tendanciel (SRES A2). (Source Climat HD)**



tiel d'atténuation de la forêt. La résilience de la forêt, face au changement climatique est un enjeu à la fois environnemental, social et économique, qui vise à préserver les écosystèmes, la séquestration de carbone atmosphérique, la production de bois et les usages récréatifs de la forêt.

Le choix d'essences adaptées, l'adaptation des pratiques sylvicoles, l'impact sur les filières économiques, la gestion des feux de forêt sont autant de défis à relever pour les forestiers (ONERC, 2014). Cette approche de résilience doit être appliquée de manière transversale aux divers plans sectoriels et déclinée au niveau régional dans les schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires et, au niveau local, dans les Plans Climat Air Énergie territoriaux pour les politiques climatiques mais également dans les déclinaisons régionales des politiques sectorielles nationales.

Parmi les 18 actions prioritaires regroupées dans le Plan d'action interministériel forêt bois publié en novembre 2018, l'action 2 de l'axe 1 prévoit de « favoriser le transfert des résultats de la recherche-expérimentation sur l'adaptation de la forêt au changement climatique » en cohérence avec le Plan recherche et innovation : filière Forêt-Bois 2025 (MAAF, 2016) et le deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique. ■

#### Bibliographie

- Bastien Y. et Gauberville C. coordinateurs, 2011. *Vocabulaire Forestier. Ecologie, gestion et conservation des espaces boisés*. Edition IDF. 554 pages + Annexes.
- IPBES, 2019. *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*.
- MAAF, 2016. *Plan recherche et innovation : Filière Forêt-Bois 2025*. Disponible sur : [https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/2016\\_rapport\\_filiere\\_foretbois\\_2025.pdf](https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/2016_rapport_filiere_foretbois_2025.pdf)
- Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018. *Le plan national d'adaptation au changement climatique. PNACC 2*. 24 pages. Disponible sur : [https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.12.20\\_PNACC2.pdf](https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.12.20_PNACC2.pdf)
- Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017. *Plan climat, 1 Planète, 1 plan*. 20 pages. Disponible sur : <https://johannesburg.consulfrance.org/Plan-climat-2017>
- ONERC, 2014. *L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change, Rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française. 181 pages.
- ONERC, 2016. *Adaptation au changement climatique, évaluation de la démarche nationale et recommandations, Rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française.
- ONERC, 2018. *Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique, Rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement*. Paris : La Documentation française.
- UICN France, 2018. *Les Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France*. 46 pages. Disponible sur : <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2018/06/brochure-sfn-mai2018-web-ok.pdf>

#### Résumé

Dans le contexte de l'enjeu particulier de la forêt dans les politiques climatiques, le Plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022 (PNACC-2) souhaite mettre en œuvre les actions nécessaires pour adapter les territoires et les activités aux changements climatiques régionaux observés et attendus. Le secteur de la forêt est très concerné. Augmentation des températures, sécheresse des sols, intensification des événements extrêmes : toutes ces évolutions déjà perceptibles auront des conséquences directes ou indirectes : feux de forêts plus fréquents, dépérissements, inondations, érosion des sols... La mise en place d'un cadre politique pour encourager dans le même temps adaptation et atténuation est donc aujourd'hui devenue indispensable.

**Mots-clés :** Adaptation, atténuation, changement climatique, politique, plan

# État de la mobilisation des forestiers face au changement climatique

Par Annabelle Amm, GIP ECOFOR, Brigitte Pilard-Landeau, ONF, Éric Sevrin, Céline Perrier, Julie Thomas, CNPF-IDF, Myriam Legay, AgroParistech et Hippolyte Ndikumwami, ONF

*Quel est le degré de prise de conscience des impacts du changement climatique par les forestiers – professionnels et propriétaires – ? Et comment mieux cibler les messages d'adaptation de la sylviculture ?*

2016	MACCLIF
Prise en compte des Mesures d'Adaptation au Changement CLImatique par les gestionnaires Forestiers	
Annabelle Amm	GIP ECOFOR

<sup>1</sup> Directives Régionales d'Aménagements (DRA), Schémas Régionaux d'Aménagement (SRA), Schémas Régionaux de Gestions Sylvicole (SRGS).

Le changement climatique (GIEC, 2014) induit déjà des modifications profondes des écosystèmes forestiers, que ce soit au niveau de la répartition des espèces (Badeau, 2004 ; Chuine, 2010 ; Jump *et al.*, 2009 ; MERLIN *et al.*, 2018) ou de la productivité des peuplements (Babst *et al.*, 2019 ; Lousteau *et al.*, 2005). De nombreux projets ont vu le jour sur l'impact et la perception du changement climatique (CARBOFOR, Dryade...) depuis une vingtaine d'années. Des initiatives ont été mises en place pour réfléchir à l'adaptation des forêts, notamment au sein du RMT AFORCE. Bien que des forestiers soient déjà sensibilisés à sa problématique, divers obstacles freinent la mise en œuvre de mesures d'adaptation.

Le projet MACCLIF, a eu pour objectifs de :

- Mieux connaître sa perception par les forestiers (professionnels et propriétaires) ; Identifier les freins à l'adaptation des pratiques de gestion ;
- Comprendre comment il est pris en compte dans les documents d'orientation et d'aménagement des forêts.

Pour répondre à ces interrogations, MACCLIF a consisté en :

- **des enquêtes en ligne** conduites auprès de 960 propriétaires forestiers privés et 922 professionnels forestiers publics

et privés (agents de l'ONF et du CNPF, gestionnaires et conseillers), ainsi que 74 entretiens individuels approfondis pour déterminer leur perception du changement climatique et sa prise en compte dans la gestion (*tableau 1*).

- **l'analyse des documents cadre forestiers** en sachant que la planification forestière se base sur deux niveaux de documents, ceux d'orientation régionaux<sup>1</sup> et ceux d'aménagement par massif/propriétaire, que ce soit pour la forêt privée (Plans Simples de Gestion) ou publique (documents d'aménagement). Les partenaires du projet ont exploré 32 DRA par analyses lexicales. Ils ont repéré un total de 496 paragraphes relatifs au changement climatique, dans lesquels les thématiques qui lui sont associées ont été analysées. De plus, la prise en compte du changement climatique dans les documents cadres de la forêt publique (DRA) et privée (SRGS) a été cartographiée à l'échelle de la France. Les mesures préconisées et les essences à risque ont été recensées à partir des 1 273 documents d'aménagement publics à l'échelle de la France. 136 PSG ont été parcourus pour déterminer leur degré de prise en compte du changement climatique.

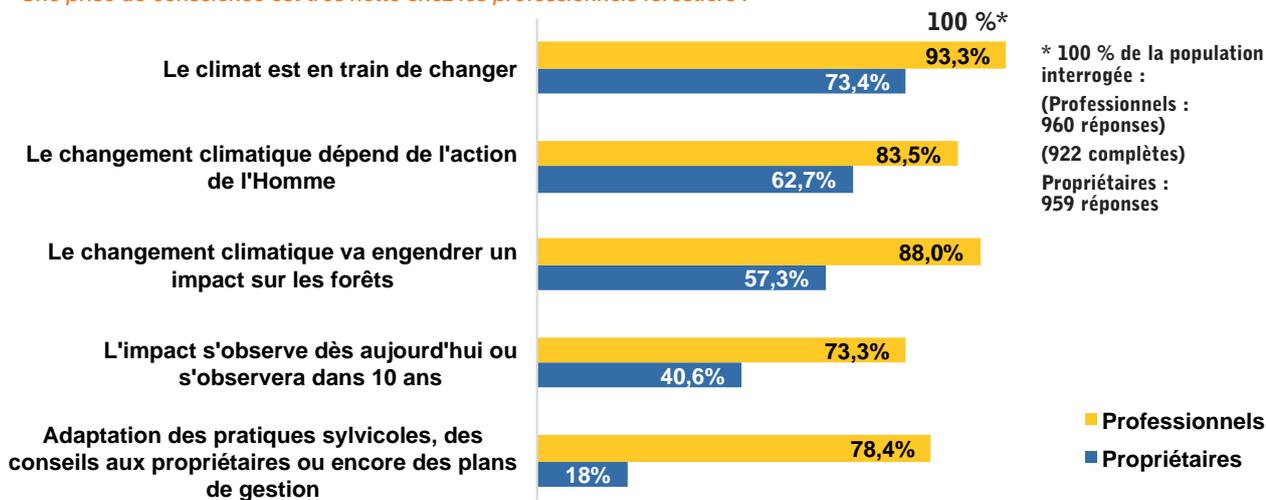
**Tableau 1 - Mise en œuvre des enquêtes et entretiens semi-dirigés.**

Public ciblé	Nombre d'enquêtés	Méthode
Propriétaires privés	959	Téléphone (enquête réalisée par le CREDOC)
Professionnels forestiers	922 questionnaires complets	Web-questionnaire
Professionnels forestiers	34 en région Centre-Val de Loire 40 en région Auvergne-Rhône-Alpes	Entretiens semi-dirigés

**Figure 1 - Schéma de la prise de conscience du changement climatique par les professionnels (en jaune) et propriétaires forestiers (en bleu).**

Source : Modifié à partir du rapport MACCLIF (AMM *et al*, 2019)

Une prise de conscience est très nette chez les professionnels forestiers :



### La prise de conscience autour du changement climatique est forte

L'enquête quantitative montre que l'attention portée aux enjeux climatiques est particulièrement nette chez les **professionnels forestiers** (gestionnaires et conseillers<sup>2</sup> : 93 % pensent que le climat est en train de changer ; 89 % qu'il va engendrer un impact sur les forêts ; 73 % que l'impact s'observe dès aujourd'hui ou s'observera dans 10 ans ; 83 % que le changement climatique dépend de l'homme). Au sein de cette large majorité, 78 % ont modifié leurs pratiques sylvicoles, leurs conseils aux propriétaires ou encore les plans de gestion. La majorité des **propriétaires forestiers** privés en ont également pris conscience (73 % pensent que le climat est en train de changer, 63 % que le changement est dû à l'homme ; 57 % qu'il va engendrer un impact sur les forêts ; 41 % que l'impact s'observe dès aujourd'hui ou sera visible dans 10 ans). Toutefois, à la différence des professionnels, seulement 18 % des propriétaires forestiers ont modifié leurs pratiques sylvicoles ou envisagent de le faire dans un futur proche (5 ans).

### Les professionnels s'adaptent...

Les entretiens semi-dirigés ont permis de mettre en évidence quatre profils principaux de professionnels (gestionnaires ou conseillers) face au changement climatique :

- l'adaptateur par l'existant dynamise sa gestion ;
- l'adaptateur par la nouveauté veut faciliter l'adaptation en apportant du matériel génétique extérieur ou en modifiant profondément les itinéraires actuels ;

► le prudent préfère « temporiser » son action dans l'attente de nouvelles informations et d'outils ;

► le sceptique ne perçoit aucun effet du changement climatique dans son secteur ou considère les informations sur le sujet contradictoires ou incertaines.

Certaines mesures d'adaptation des forêts au changement climatique reviennent régulièrement à travers les différentes analyses menées, par exemple « Favoriser, substituer, planter des essences adaptées aux conditions futures » (changer d'essence ou planter la même essence mais d'une provenance plus méridionale) ; « Favoriser le mélange d'essences » et « Dynamiser la sylviculture ».

### ...mais de nombreux freins subsistent

Bien que les professionnels soient tout à fait conscients des risques liés au changement climatique, ils éprouvent toujours des difficultés à établir un diagnostic clair et étayé de ses effets ce qui peut les amener à différer la prise de décision plutôt que l'anticiper. Les principaux freins à la mise en place de mesures d'adaptation évoqués par les professionnels lors des entretiens sont d'ordre économique et technique (ils déclarent notamment être en attente d'outils de diagnostic) ; ils sont aussi liés aux connaissances et à la communication. Ce résultat est cohérent avec les réponses des 922 professionnels ayant répondu à l'enquête en ligne : pour ceux qui ont modifié leurs pratiques de gestion,

<sup>2</sup> Le taux de réponse des professionnels forestiers, tout corps de métier confondu est de 20 %.

<sup>3</sup> Pourcentage par rapport au nombre total d'enquêtés ayant modifié leurs pratiques de gestion (soit 723).

<sup>4</sup> Expressions reliées au changement climatique : changement global, modification climatique, évolution climatique, réchauffement.

les principaux freins à la mise en place de mesures d'adaptation sont dus à des moyens financiers insuffisants (47 % <sup>3</sup>), l'incertitude pour aller plus loin dans l'adaptation (44 %) et le manque d'information (26 %).

Les freins évoqués par les propriétaires forestiers privés conscients du changement climatique, sont liés au fait qu'ils pensent encore pouvoir attendre pour agir (70 %), qu'ils disposent de trop peu d'informations (33 %) et que ces dernières sont contradictoires (28 %).

### Des sources d'information diverses

Les enquêtes montrent également comment les forestiers se renseignent autour du changement climatique et la circulation de l'information. Les deux principales sources d'information se font par l'intermédiaire de l'avis d'autres professionnels et les revues techniques, que ce soit pour les professionnels ou les propriétaires. Environ 47 % des professionnels se renseignent grâce à des fiches techniques, et 35 % lors de formations. Les conférences ne constituent pas une source d'information majeure pour eux. La moitié des propriétaires déclarent faire confiance à leur entourage et aux associations dont ils font partie.

### Le changement climatique inquiète

La prise en compte du changement climatique a été mesurée dans les documents cadre d'aménagement en fonction du nombre de fois où l'expression « changement climatique » (ou expressions associées<sup>4</sup>) est citée. Tous les documents cadre le prennent en compte mais de façon très disparate. Finalement aucun gradient géographique ne se dessine à l'échelle de la France.

L'analyse lexicale des documents cadre d'aménagement montre que le changement climatique était perçu négativement lors de l'écriture de ces documents et traduit inquiétude et incertitude vis-à-vis des actions à engager, tel que l'illustre le nuage de mots (*Figure 2*). Les préoccupations des rédacteurs de ces directives portent principalement sur le choix des essences permettant d'adapter les forêts aux bouleversements à venir. Les autres mots-clés sont associés à la santé des forêts (risques, dépérissements, ravageurs, parasites...) et au climat lui-même (sécheresse, canicule, stress hydrique...).

### Une partie des aménagements intègre la question du changement climatique

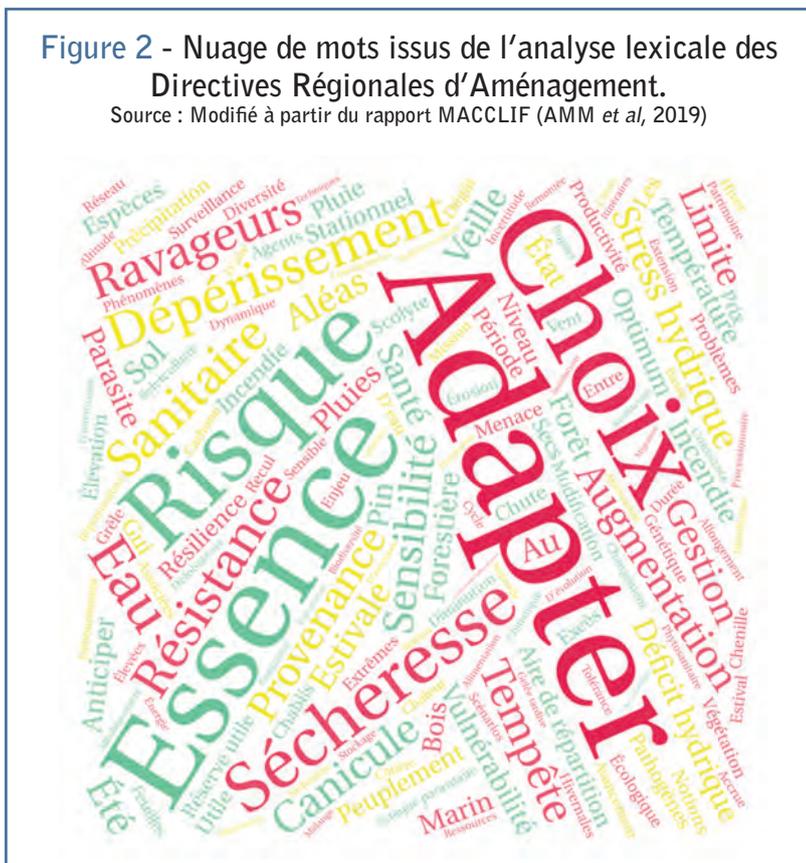
Les documents de gestion publics et privés ont été majoritairement rédigés dans les années 2000 alors que les connaissances autour du changement climatique manquaient sur beaucoup d'aspects. Au total 19 % des aménagements en forêt domaniale mentionnent ce terme, et plus particulièrement les plus récents. Les aménagements forestiers publics explicitent généralement mieux la problématique « changement climatique » que les plans simples de gestion (PSG) en forêt privée. La prise de conscience du changement climatique dans les PSG n'est pas nécessairement accompagnée par la mise en place de mesures correctives ou d'anticipation. *A contrario*, certaines mesures préconisées dans ce cadre sont mises en place sans pour autant être mentionnées dans les PSG. Il semble se dessiner une tendance plus marquée à sa prise en compte ces dernières années.

### Principaux enseignements

Un des principaux enseignements des enquêtes est que les forestiers sont dans leur ensemble fortement conscients du changement climatique et de ses impacts sur les forêts.

Figure 2 - Nuage de mots issus de l'analyse lexicale des Directives Régionales d'Aménagement.

Source : Modifié à partir du rapport MACCLIF (AMM et al, 2019)



Cependant, les propriétaires sont nettement moins enclins à modifier leurs pratiques, pensant pouvoir encore attendre avant d'agir.

Les professionnels forestiers sont actifs dans la mise en œuvre de différentes solutions d'adaptation. Il serait toutefois important de préciser les conditions d'application de ces options afin de voir si elles répondent à l'objectif de sylviculture visé. *A contrario*, il faut attirer l'attention sur les limites éventuelles de certaines mesures d'adaptation envisagées. Par exemple, les forestiers ne sont pas hostiles au changement d'essences, mais préfèrent encore des essences autochtones plutôt que des exotiques.

Les freins évoqués dans les enquêtes (manque de moyens financiers ou de diagnostics fiables...) traduisent au final **la grande incertitude des forestiers, non sur le changement climatique lui-même mais sur les moyens d'action.**

La grande majorité d'entre eux ne recourt pas à des formations dédiées mais échange beaucoup sur la question du changement climatique. Les solutions qu'ils proposent ne sont pas très éloignées du discours de la recherche et des organismes de développement, ce qui montre une diffusion et une appropriation de l'information plutôt satisfaisante. L'organisation d'échanges à un échelon régional ou local sur ce sujet pourrait être toutefois encore améliorée aussi bien pour les professionnels que pour les propriétaires, qui se fient plus particulièrement aux informations de proximité. Fort de ces constats, le RMT AFORCE propose pour sa prochaine période de labellisation d'intensifier ses actions d'appropriation des outils d'aide à la décision et de diffusion des messages sur les solutions. Les travaux financés dans le cadre du RMT, mais aussi

avec d'autres financements, vont permettre de tester des outils de diagnostic, en particulier pour le choix des essences.

L'analyse régulière des documents d'orientation et des aménagements permettrait aussi de suivre la prise en compte du changement climatique dans la gestion (évolution du nombre et de la diversité des impacts et des mesures envisagées). Elle serait, après quelques années, extrêmement riche d'enseignements pour le suivi des mesures d'adaptation mises en place. Elle reflèterait enfin les disparités régionales et l'impact potentiel de mesures d'accompagnement à la décision en contexte de changement climatique. ■

#### Bibliographie :

- Amm A., Bertrand T., Deuffic P., Landmann G., Legay M., Lucas V., Ndikumwami H., Perrier C., Picard O., Pilard-Landeau B., Riou-Nivert P., Sedilot-Gasmi C., Sevrin E., Thomas J., 2019. *Projet MACCLIF « Prise en compte des Mesures d'Adaptation au Changement CLimatique par les gestionnaires Forestiers »* - Rapport final. 55 pages + Annexes.
- Badeau V., 2004. *Rapport final du projet Carbofor. Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France*. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. 138 p. Disponible sur : <http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/gicc/7-01LousteauCraboforRF.pdf>
- Babst F. et al., 2019. *Twentieth century redistribution in climatic drivers of global tree growth*. *Sci. Adv.* 5. Disponible sur : <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat4313>
- Chuine I., 2010. Why does phenology drive species distribution? *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365, p. 3149–3160. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0142>
- Giec, 2014. *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. 161 p.
- Jump A.S. et al., 2009. *The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species*. *Trends Ecol. Evol.* 24, p. 694–701. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.007>
- Lousteau D. et al., 2005. *Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level*. *TREE Physiol.* 25, p. 813–823. Disponible sur : <https://doi.org/10.1093/treephys/25.7.813>
- Merlin M. et al., 2018. *Limited validation of forecasted northward range shift in ten European tree species from a common garden experiment*. *For. Ecol. Manag.* 410, p. 144–156. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.001>

#### Remerciements

Nous remercions le RMT AFORCE et le Labex ARBRE pour leur soutien ainsi que toutes les personnes impliquées dans le projet (Annabelle Amm, Brigitte Pilard-Landeau, Céline Perrier, Ceydric Sedilot-Gasmi, Eric Sevrin, François-Xavier Nicot, Guy Landmann, Hippolyte Ndikumwami, Julie Thomas, Myriam Legay, Philippe Deuffic, Philippe Riou-Nivert, Sophie Meyer) et nos deux stagiaires Théophile Bertrand et Valentin Lucas. Nous remercions également tous les forestiers ayant répondu aux enquêtes ou aux entretiens semi-dirigés sans lesquels ce projet n'aurait pas abouti.

#### Résumé

Mieux comprendre la perception et la prise en compte du changement climatique par les forestiers permet de les guider dans leurs choix pour adapter les forêts à ce nouveau contexte. Cette étude a approfondi ces questions à travers des enquêtes menées auprès des professionnels et des propriétaires forestiers et à travers l'analyse des documents cadre de gestion des forêts, des aménagements et des plans simples de gestion. Les forestiers ont conscience des enjeux, mais des efforts restent à fournir pour inciter un changement plus profond des pratiques de gestion.

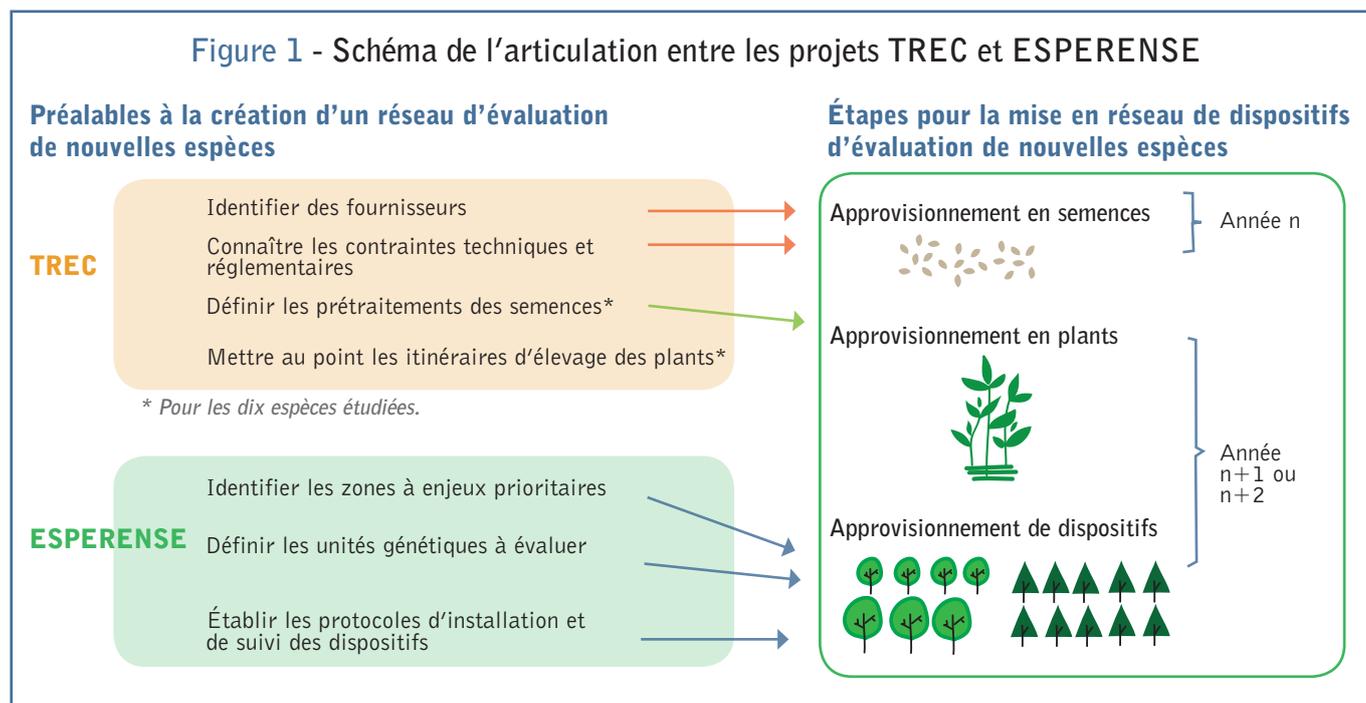
**Mots-clés :** Adaptation des forêts, changement climatique, enquêtes d'opinion, questionnaires, analyses lexicales.

# Un réseau collectif d'évaluation du potentiel d'adaptation des essences et provenances pour le futur

par Hedi Kebli, Céline Perrier, CNPF-IDF, Patrice Brahic, ONF, Eric Paillassa, Sabine Girard, CNPF-IDF

2015	TREC	Transfert Raisoné en Espèces introduites	Patrice Brahic	ONF
2017	ESPERENSE	Création d'un réseau national multipartenaire d'évaluation de ressources génétiques forestières pour le futur	Céline Perrier	CNPF

L'introduction de nouvelles ressources génétiques est une des solutions possibles d'adaptation de nos forêts au changement climatique. Elle nécessite toutefois de prendre certaines précautions et de mobiliser un important effort expérimental et les connaissances de tous les acteurs. Deux projets regroupant les différents acteurs de la recherche et du développement forestiers, posent les fondations d'une évaluation concertée et collective de telles introductions.



Une des solutions pour adapter les forêts au changement climatique est d'enrichir la palette des essences forestières actuelles, avec de nouvelles essences et provenances<sup>1</sup> susceptibles de supporter à la fois les conditions climatiques actuelles et futures. Cependant, leur implantation sur le territoire métropolitain est une décision difficile pour les forestiers, avec des conséquences potentiellement lourdes pour l'ensemble de la filière forêt-bois. C'est pour anticiper ce besoin de substituer certaines essences en place jugées vulnérables aux nouvelles conditions climatiques, et pour organiser l'identification et l'approvisionnement de nouvelles essences

et provenances, que les projets TREC (Transfert Raisoné en Espèces introduites) et ESPERENSE (RESeau national multiPartenaire d'Évaluation de Ressources gÉNétiques foreStièrEs pour le futur) ont été initiés.

Le premier a permis de déterminer des réseaux d'approvisionnement en semences de qualité d'espèces encore très peu connues des forestiers français mais déjà identifiées par les acteurs de la Recherche & Développement. Le second a pour objectif de poser les bases d'un réseau d'expérimentations multipartenaires destiné à évaluer de nouvelles ressources génétiques forestières pour le futur.

<sup>1</sup> Outre l'introduction d'espèces non encore utilisées dans les forêts métropolitaines, l'introduction peut également concerner certaines provenances d'espèces déjà présentes dans nos forêts ; on peut par exemple envisager d'introduire des hêtres espagnols ou bien des chênes chevelus de la région niçoise dans des zones situées au nord de la Loire.



## Apporter un cadre global à l'expérimentation de nouvelles essences et provenances

ESPERENSE mettra à disposition un cadre global pour la constitution de son réseau expérimental. Il sera constitué d'éléments méthodologiques, de manière à guider les expérimentations futures de nouvelles essences et provenances : zones prioritaires pour l'expérimentation, design expérimental, protocoles d'installation et de suivi, listes d'unités génétiques (UG)<sup>2</sup> à évaluer, etc. L'objectif est d'harmoniser les pratiques expérimentales, d'assurer cohérence et complémentarité entre les dispositifs et de mutualiser les moyens : tous les dispositifs qui intégreront ce réseau contribueront à l'enrichir et à donner plus de puissance à l'analyse de ses résultats.

## Design expérimental du réseau

Les essais du réseau d'expérimentations ESPERENSE seront installés prioritairement dans des secteurs géographiques considérés comme « zones à enjeu » et dans d'autres correspondants au climat futur de la zone à enjeu étudiée. Une zone est considérée à enjeu parce que les peuplements en place :

- représentent un enjeu de production<sup>3</sup> à l'échelle locale ou nationale,
- ET font l'objet d'une préoccupation particulière du fait de l'évolution du climat, appréciée selon différentes approches<sup>4</sup>, basées sur la connaissance de la niche climatique de l'espèce, sur une probabilité d'observer des dépérissements et sur l'évolution de sa mortalité.

Ce couple de sites permettra d'étudier simultanément les essences dans différentes conditions climatiques correspondant au climat actuel et au climat supposé futur de la zone à enjeu, dans des conditions édaphiques similaires ou proches.

## Protocoles et types d'essais

S'appuyant sur le Guide de l'expérimentation forestière [1] et sur le retour d'expérience de projets antérieurs (REINFFORCE<sup>5</sup>, NOMADES [2], arboreturns scientifiques, VALORESOL [3], EXPRESS [4]), ESPERENSE propose une approche raisonnée et pragmatique qui organise l'acquisition des connaissances. Ainsi, trois types de dispositifs sont proposés pour :

- **sélectionner** de nouvelles UG adaptées à nos climats (tests d'élimination),
- **évaluer** le comportement d'UG reconnues potentiellement intéressantes en peuplement (tests de comportement)
- **approvisionner** des essences nouvelles pour la gestion (tests en îlots d'avenir).

Chaque dispositif est cadré par des protocoles types qui seront mis à disposition des expérimentateurs. Ces différents types de dispositifs permettront à tous les organismes intéressés de choisir son niveau de participation au réseau, multipliant ainsi les contextes climatiques et stationnels étudiés, tout en conservant une rigueur et une cohérence permettant la mutualisation des résultats.

## Liste d'unités génétiques à tester

Un classement est établi pour établir la liste des UG à tester dans les différentes zones à enjeu. Il s'appuie sur :

- les connaissances actuelles sur le comportement des UG, leurs potentialités et leurs exigences ;
- l'analyse du patrimoine expérimental existant ;
- la réglementation et le circuit d'approvisionnement.

En fonction de ces critères, les UG sont classées en catégories représentatives de leur aptitude à pouvoir remplacer les essences en place en position critique dans chacune des zones à enjeu. Les expérimentateurs disposeront pour chaque zone à enjeu d'une liste d'UG à tester dites « candidates » ou « aptes »,

*Exemple de test d'élimination (arboretum REINFFORCE d'Exideuil en Charente).*

<sup>2</sup> Unité génétique : lot de graine ou de boutures correspondant au même couple essence/provenance.

<sup>3</sup> Ces zones ont été déterminées de façon rigoureuse à partir des données de l'IGN, contributeur du projet.

<sup>4</sup> Cette préoccupation est définie sur la base des résultats des projets BIOCLIMSOL [5], IKSMAPS [6] et des travaux de thèse d'A. TACCOEN [7]

<sup>5</sup> Réseau INFrastructure de recherche pour le suivi et l'adaptation des FORêts au Changement climatiqueE. Pour en savoir plus : <http://reinforce.iefc.net>

## Bibliographie :

[1] Rosa J., Riou-Nivert P., Paillassa E., 2011. *Guide de l'expérimentation forestière: Principe de base - Prise en compte du changement climatique*. CNPF/IDF. 224 p.

[2] NOMADES : nouvelles méthodes d'acclimatation des essences forestières ; Le Bouler H., Legay M., Riou-Nivert P., 2014. *Le climat change, vite, trop vite... Comment aider les arbres à le suivre ?* Forêt Entreprise n° 217 in Dossier « Changement climatique : de nouveaux outils pour guider l'adaptation ». p. 26-29.

Riou-Nivert Ph. et al., 2013. *Quelles essences pour quelles régions ? Inventaire des essences susceptibles d'être intéressantes et acceptables pour relayer les essences autochtones*. Projet Nomades, Fascicule 5. CNPF, INRA, ONF, SFCDC. 14 pages

[3] VALORESO : Évaluer la réponse au climat d'essences introduites par la mise en commun des données de réseaux expérimentaux ;

Pierangelo A., 2015. *Projet VALORESO – Phase 2. Évaluer la réponse au climat d'essences introduites par la mise en commun des données de réseaux expérimentaux*. Rapport final. 86 p.

[4] EXPRESS : Comment organiser efficacement l'expérimentation de nouvelles essences et provenances ? Parizel A., 2017. *Séminaire expert EXPRESS « Comment organiser efficacement l'expérimentation de nouvelles essences et provenances ? »* Rapport final. 48 p.

[5] Lemaire J., 2014. *BioClimSol : un outil d'aide à la décision face au changement climatique*. Forêt Entreprise no. 218.

[6] LEGAY M., 2017. *IKSMAPS 2 : Production de cartes pré calculées d'évolution des aires climatiques des principales essences de la foresterie française à l'aide du modèle IKS – Volet 2 Développement d'un service sylvoclimatique basé sur le modèle IKS*.

[7] Taccoen A., Piedallu C., Seynave I., Perez V., Gegout-petit A., Nageleisen L.-M., Bontemps J.-D., Gegout J.-C., 2019. *Background mortality drivers of European tree species: climate change matters. Proceedings of the Royal Society B 286*, n°. 1900 : 20190386.

<sup>6</sup> Infrastructure nationale regroupant les dispositifs de recherche des Établissements travaillant sur la gestion forestière. Pour en savoir plus : <https://www6.inra.fr/in-sylva-france>

selon le type de test. Cette liste sera régulièrement mise à jour et enrichie de nouvelles espèces.

## Organiser l'approvisionnement

Lorsque la liste des essences/provenances à tester dans le réseau sera disponible pour les expérimentateurs, il faudra organiser l'approvisionnement en plants afin de répondre à leurs demandes. Le travail réalisé lors du projet TREC facilitera la mise à disposition de semences de qualité et permettra, pour certaines espèces étudiées, de mettre au point des traitements appropriés pour obtenir leur germination et la production de plants compatibles avec les standards de qualité.

Dans un premier temps, TREC s'est attaché à trouver et à tester des filières d'approvisionnement en semences de qualité pour une douzaine d'espèces. Les espèces en question ont été choisies pour permettre d'appréhender des contextes différents en termes d'organisation de la filière de récolte et de commercialisation des semences forestières, de réglementation et d'échanges commerciaux. Il s'agissait d'identifier les fournisseurs, les contraintes réglementaires et autres difficultés techniques (normes sanitaires, fréquence des fructifications, périodes des récoltes, durées de conservation...) dans des pays aussi différents que le Chili, les États-Unis, la Chine, la Turquie et différents pays des Balkans, de façon à préparer au mieux de futurs circuits d'importations. Selon l'espèce, les délais entre le choix de l'essence et la fourniture du plant prêt à planter peuvent aller de 12 à plus de 30 mois pour *Pinus peuce* par exemple (en tenant compte de la recherche d'approvisionnement, des démarches administratives et réglementaires, de l'expédition et de la mise en culture).

Dans un second temps, les semences obtenues dans le cadre du projet TREC ont subi différents prétraitements afin d'établir celui qui était le plus adapté pour produire des plants de qualité au bout d'une ou deux saisons de végétation sous nos latitudes.

Ces différents éléments sont des préalables indispensables pour envisager de tester de nouvelles espèces dans le cadre du réseau ESPERENSE.

## Améliorer les connaissances sur les essences et provenances

Les résultats issus des essais *in situ* du réseau contribueront à alimenter les connaissances

sur les essences et provenances peu ou pas connues en France : capacité de survie et de croissance dans différents contextes stationnels et climatiques, sensibilité à la concurrence ou à certains risques sanitaires. Pour renforcer encore le réseau, il sera proposé par la suite aux organismes d'expérimentation d'y rattacher des dispositifs existants à condition qu'ils remplissent le cahier des charges commun. Pour compléter ces connaissances, des analyses en serre (*ex situ*) sont également menées pour étudier le comportement physiologique des essences face à un stress hydrique dans le jeune âge. Ces tests pourraient à terme faciliter la sélection d'essences tolérantes au stress hydrique, pour aider dans la mise en place des tests *in situ*.

## Mettre en place un partenariat durable

L'ampleur et l'importance de l'enjeu sur les essences de demain implique une mutualisation pérenne des moyens dans le cadre du réseau ESPERENSE. Par ailleurs, des outils d'échange et de communication autour des dispositifs et des données doivent faciliter le suivi des essais, le partage d'expériences, l'analyse groupée des résultats et leur traduction rapide en recommandations. Pour cela, la formalisation d'un consortium est à l'étude ainsi que la mise en place d'une plateforme d'échanges multipartenaires sur les essences (outils, logistique, procédures, partage de données). Cette plateforme apportera aussi une visibilité sur l'existence de ce réseau à l'extérieur et sera le lien avec IN-SYLVA<sup>6</sup> qui fédère l'expérimentation forestière en France.

## Conclusion

TREC et ESPERENSE ont bénéficié des réflexions et projets antérieurs menés par les différents partenaires. Le réseau d'expérimentations ESPERENSE qui sera initié fin 2020 constitue leur aboutissement. Il permettra de fédérer les initiatives et conduira plus rapidement et de manière efficiente à une amélioration de nos connaissances sur les essences et provenances de demain. Plus le réseau regroupera de dispositifs et plus nous disposerons d'informations fiables. Les résultats contribueront à terme à l'élaboration de recommandations pour le choix des essences et provenances adaptées au changement climatique.

**Remerciements :** Nous remercions le RMT AFORCE et le ministère de l'Agriculture pour leur soutien.

# Pré-cartographie des stations forestières sur le Nord-Ouest de la France

par Florentin Madrolles, Jean-Baptiste Reboul, CNPF-CRPF Normandie et Christian Piedallu, INRA

*La pré-cartographie numérique des stations forestières est un pré zonage des stations potentielles prédisant leur répartition en fonction de différentes données décrivant la géologie, la topographie ou le climat... Elle ne vaut pas une carte définitive des stations forestières, mais apporte une information majeure à valider sur le terrain.*

Peu de forêts privées sont couvertes par une carte des stations forestières, alors que cette information est fondamentale pour raisonner l'adaptation des essences au changement climatique. Partant de ce constat PRESTATION NO propose une pré-cartographie des stations forestières sur le Nord-Ouest de la France accompagnée de sa méthodologie d'élaboration mettant en évidence les améliorations encore possibles de l'outil. Elle couvre 4 régions administratives (Centre - Val de Loire, Hauts-de-France, Normandie et Ile-de-France).

## La pré-cartographie des stations forestières : Principe de Construction

Elle est issue du croisement de 3 facteurs écologiques modélisés et représentés spatialement sous forme de classes :

- 1) le **niveau trophique**, estimé d'après le pH bio-indiqué des sols, obtenu à partir de la végétation ;
- 2) la **réserve en eau maximale** des sols estimée sur un sondage d'une profondeur maximale de 90 cm ;
- 3) le **niveau d'hydromorphie**, issu de sondages de terrain et représentant la probabilité d'avoir une hydromorphie marquée à différentes profondeurs.

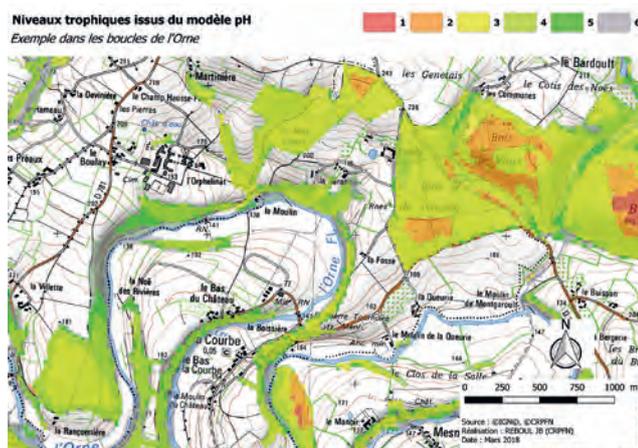
L'élaboration des cartes de ces 3 facteurs est basée sur des modèles statistiques reliant une donnée estimée sur le terrain issue des bases de l'inventaire forestier de l'IGN à diverses informations dont la distribution spatiale est connue, comme la géologie, la topographie, l'effet des peuplements, le climat...

Les cartes réalisées de ces 3 facteurs ont été produites sous forme de classes en se basant sur différents découpages du niveau trophique, de la réserve en eau et des niveaux d'hydromorphie proposés dans les guides pour le choix des essences régionaux.

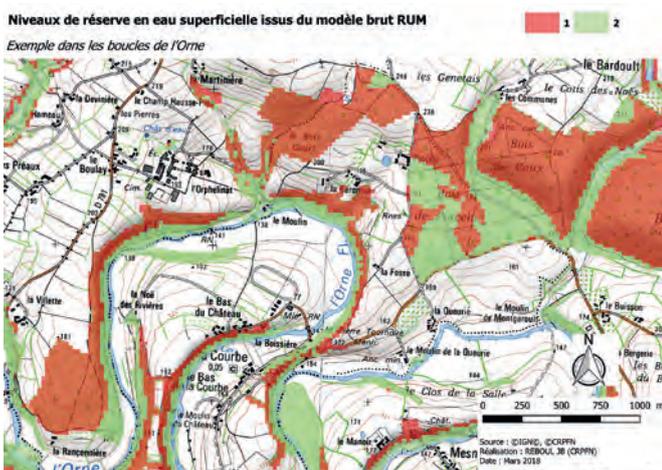
En complément, un travail a été réalisé sur un zonage climatique de la région d'étude et son évolution dans le cadre du changement climatique.

Figure 1 - La pré-cartographie issue du croisement de 3 facteurs écologiques

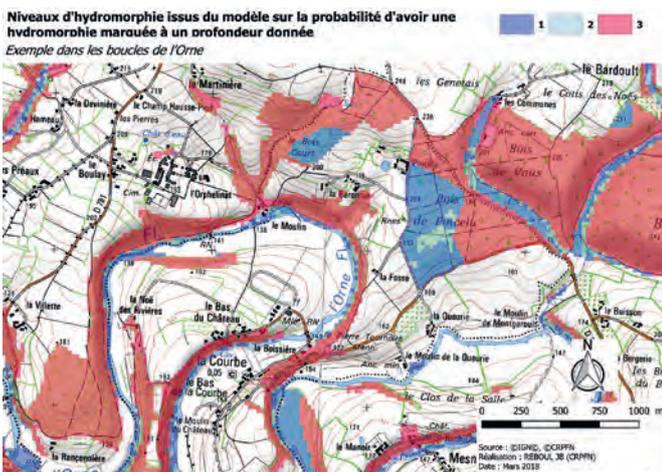
### Niveau trophique (6 classes)



### + Réserve en eau (2 classes)



### + Niveau d'hydromorphie (3 classes)

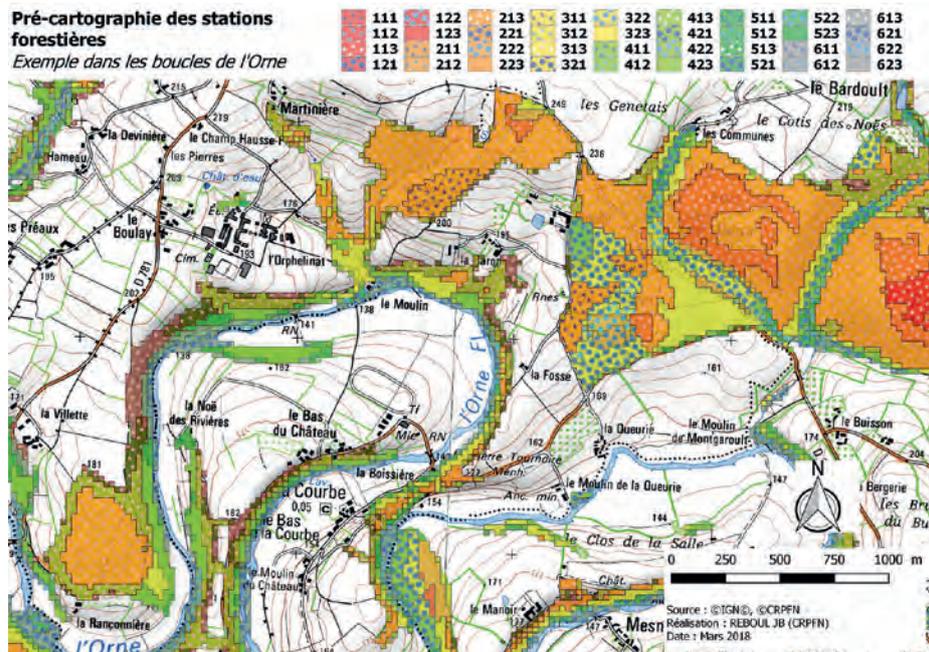


## La pré-cartographie, une résultante de ces trois variables

Niveau trophique		Réserve utile maximale en eau		Niveau d'hydromorphie	
1	Très acide	1	Faible < 60 mm	1	Hydromorphie marquée dans les 30 premiers cm
2	Acide				Hydromorphie marquée entre 30 et 50 cm de profondeur
3	Assez acide				Hydromorphie marquée après 50 cm de profondeur ou sol sain
4	Peu acide	2	Moyenne à bonne > 60 mm	2	
5	Neutre				
6	Calcique à calcaire				

### Pré-cartographie des stations forestières

Exemple dans les boucles de l'Orne



### Quelles sont les améliorations possibles de la méthodologie d'élaboration de la pré-cartographie ?

Les pistes d'amélioration de la méthodologie portent à la fois sur les relevés de terrain qui sont utiles pour calibrer les modèles, les données spatialisées qui permettent de les expliquer et de les cartographier, et les modélisations et spatialisations qui sont mises en œuvres.

### Quels usages de la pré-cartographie des stations forestières ?

Un réseau de 57 forêts pilotes représentant 4 678 ha, couvrant et illustrant la diversité des régions forestières, a été mis en place pour tester la pré-cartographie des stations forestières et évaluer si elle est suffisante pour réaliser une carte des stations forestières fonctionnelle.

## POUR EN SAVOIR PLUS SUR LES PISTES D'AMÉLIORATION

### 1 : Données ponctuelles : calibration et validation des modèles.

Pour l'élaboration des modèles de pH, réserve utile maximale et hydromorphie :

- Augmentation des effectifs pour construire et valider les modèles (5000 à 6000 nouveaux points sont acquis chaque année au niveau national par l'IGN, par exemple).

- Amélioration de la qualité des jeux de données : qualité de la bio-indication ou de l'estimation de la réserve utile en eau maximale par exemple.

Ces améliorations sont possibles à condition de poursuivre la centralisation des données phytoécologiques harmonisées permettant la bio-indication, et de veiller à l'acquisition de relevés géolocalisés avec précision.

Pour la prise en compte du climat :

- Homogénéisation des séries climatiques et ajout de nouveaux postes météo permettant une meilleure prise en compte des effets de la topographie locale.

### 2 : Données spatiales : cartes numériques permettant l'élaboration et la cartographie des modèles

- Disponibilité des cartes géologiques vectorisées au 1/50000<sup>e</sup> du BRGM à titre gratuit, même si une de leurs limites peut être l'absence locale de prise en compte des couvertures superficielles (épaisseurs des limons par exemple).

- Utilisation de modèles numériques de terrain plus fin (5 m ou 10 m), notamment pour améliorer la prise en compte de l'hydromorphie (influence de la microtopographie sur les écoulements d'eau).

- Utilisation des cartes pédologiques au 1/50 000<sup>e</sup>. Il a été montré que ces cartes amélioreraient les performances des modèles par rapport à la géologie seule. Malheureusement, une infime partie du territoire est couverte.

- Utilisation des cartes des forêts anciennes qui améliorent par exemple les modèles de pH des sols. De même, cette information n'est pas disponible pour l'ensemble du territoire.

### 3 : Méthodes : modélisation et spatialisation

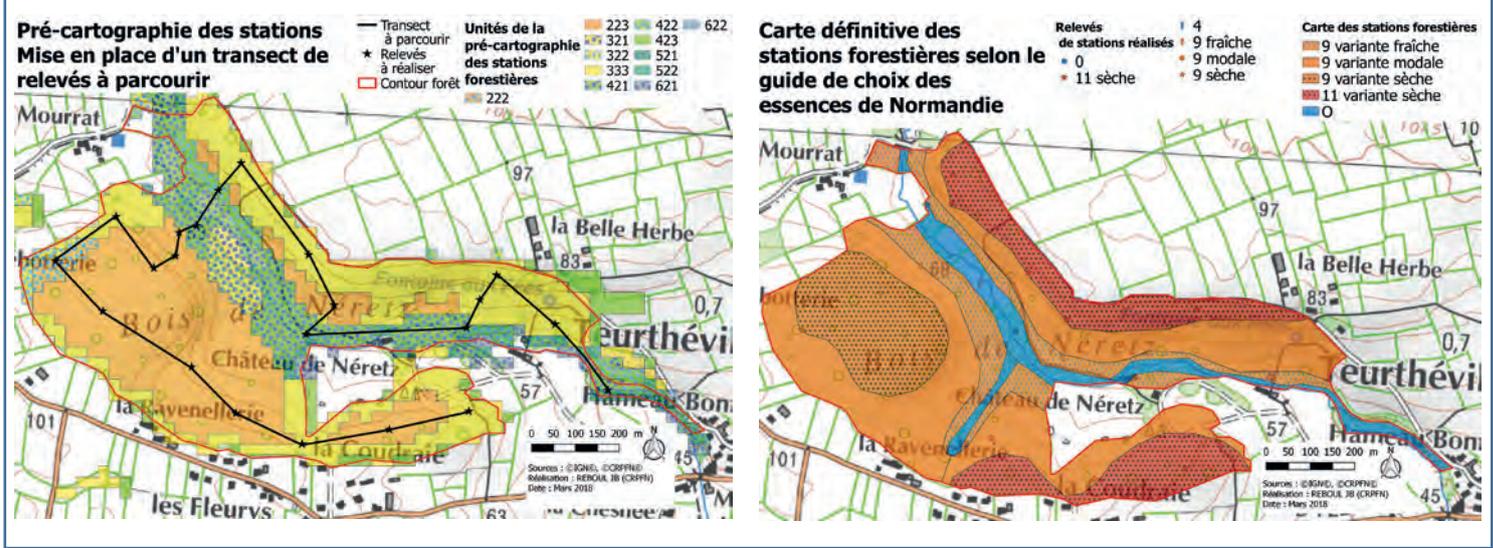
- Tester différentes méthodes de modélisation, de sélection de variables dans les modèles et de spatialisation, incluant les méthodes hybrides couplant différents outils.

- Définir la résolution optimale des modèles (tailles de cellules pour lesquelles les cartes sont les plus performantes).

- Mise à jour automatisée des modèles lorsque de nouveaux relevés sont disponibles.

- Intégration des effets liés au changement climatique directement dans la carte des stations.

Figure 2 - De la pré-cartographie à la carte des stations forestières définitive



Dans l'exemple ci-dessus, la pré-cartographie prédit bien les deux grands ensembles de stations avec l'opposition entre les parties hautes acides et drainées et les parties basses plus riches avec une contrainte engorgement. Néanmoins, elle ne permet pas à elle seule de distinguer les stations à plus faibles réserve en eau qui correspondent aux parties sommitales du massif. De même, elle prédit des sols plus riches en bordure ce que l'on ne retrouve pas en réalité.

La pré-cartographie ne vaut pas carte définitive des stations forestières. Il faut enfiler les bottes et ressortir sa tarière et sa pioche pour un retour terrain. Issue de modèles, elle peut cumuler différents types d'erreurs. Par exemple, l'absence d'une formation superficielle sur la carte géologique (limons, sables, alluvions,...) impacte à la fois l'évaluation du pH, de la RUM, et de l'hydromorphie. En revanche, la pré-cartographie, en complément des guides des stations forestières régionaux, simplifie considérablement la réalisation des cartes, en facilitant la mise en place de transects et de points de relevés couvrant la diversité stationnelle des forêts. Elle permet une connaissance rapide du contexte stationnel, avec un pré-découpage des variations potentielles des stations.

La méthodologie de cartographie par zonages préalables utilisant ce nouvel outil est décrite dans le guide pour le choix des essences de Normandie. Des notices sur la fiabilité de la pré-cartographie et les précautions d'usage sont en cours de finalisation pour les différentes régions forestières IFN et les zones couvertes par les guides de stations concernées par ces travaux.

La pré-cartographie est déjà mise à disposition des gestionnaires et propriétaires en Normandie et le sera prochainement dans les autres régions couvertes par cet outil. Notons par ailleurs que les régions Normandie et des Hauts-de-France appuient financièrement la mise en place de cartes de stations forestières chez les propriétaires privés. ■

**Remerciements**

Nous remercions le RMT AFORCE et le Labex ARBRE ainsi que nos autres financeurs pour leur soutien. Nous remercions également l'ensemble des acteurs de ce projet, Florentin Madrolles, aujourd'hui à l'ONF et Florence Gohon, IGN pierres angulaires de ce projet.

**Bibliographie :**

- Madrolles F., Reboul J.-B., 2016. *Le projet ECOGEODYN en Normandie : des cartes prédictives aux utilisations pratiques dans les forêts normandes*. Forêt-entreprise n° 228, p. 44-48.
- Madrolles F., Reboul J.-B., 2018. *Guide de choix des essences de Normandie*. CRPFN. 212 p.
- Piedallu C., Gegout J.-C., Cornu J.-F. & Cluzeau C., 2006. *Cartographie prédictive des stations forestières du massif vosgien, élaboration, validation et applications*. Rapport d'étude, conventions de recherche ENGREF-ECOFOR et ENGREF-SERFOB Lorraine, Engref, 95 p.

<b>2015</b>	PRESTATION NO
Prédiction spatiale des stations forestières dans le Nord-Ouest de la France	
Florentin Madrolles	CNPF-CRPF Normandie

**Résumé**

Peu de forêts privées sont couvertes par une carte des stations forestières. Aussi, le projet PRESTATION NO établit une pré-cartographie des stations forestières pour le Nord-ouest de la France, afin d'inciter les gestionnaires à réaliser des diagnostics des stations, et si possible faciliter l'établissement de cartes de stations. Sa méthodologie, reprise de celle réalisée dans les Vosges en 2003, est aussi un résultat du projet, car duplicable dans d'autres régions.  
**Mots-clés :** Stations forestières, cartographie, modélisation, changement climatique.

# Dépérissement du Pin sylvestre et outils d'aide à la gestion

par Pauline Marty et Alexandre Jourdan, CNPF-CRPF PACA, Michel Venetier, IRSTEA, Jean Lemaire, CNPF-IDF

<sup>1</sup> L'indice topographique mesure la position dans la pente (crête/haut-milieu ou bas de versant/ vallon). Informations sur l'indice utilisé : <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>

<sup>2</sup> Un peuplement est dépérisant si au moins 20% de ses arbres ont plus de 50% de perte foliaire.

*Le pin sylvestre est la première essence en surface de la région Provence-Alpes Côte d'Azur (PACA). Il subit les sécheresses ce qui se traduit par des dépérissements, favorisés par la présence de gui. Une étude a cartographié la sensibilité du pin sylvestre aux changements climatiques et en a étudié les causes possibles, ce qui débouche sur des recommandations de gestion.*

La région PACA est la plus touchée par le changement climatique (+ 2 °C entre 1960 et 2010, contre +1,5 °C en moyenne en France). Le pin sylvestre y est l'essence la plus présente. Or, ce pin, qui est l'arbre à l'aire de répartition la plus étendue au monde, se trouve en PACA en limite sud de son aire de distribution. Le Département Santé des Forêts (DSF) y constate un dépérissement en augmentation : en 1989, plus de 50 % des pins ne présentaient pas de perte foliaire, contre seulement 10 % de nos jours. Les enjeux pour la filière bois sont forts sans compter les effets sur les autres fonctions de la forêt et le risque incendie.

Le projet SYLFORCLIM (Forêts méditerranéennes et alpines face aux changements climatiques) avait pour objectif de préciser les raisons de ce dépérissement et de fournir des outils d'aide à la décision.

## Méthode

Des données sur l'état sanitaire, la croissance et la station furent récoltées sur 90 placettes réparties selon un échantillonnage stratifié en fonction de l'altitude, de l'exposition, de la pente et de la position topographique (intégrées dans un indice topographique<sup>1</sup> calculé sous SIG).

Les largeurs de cerne de 450 arbres (900 carottes) furent mesurées en laboratoire. Les données climatiques de Météo-France et AgroParisTech ont été remodelisées suivant les besoins de l'étude.

Les traitements statistiques visaient à expliquer le dépérissement du pin sylvestre et l'évolution de sa productivité.

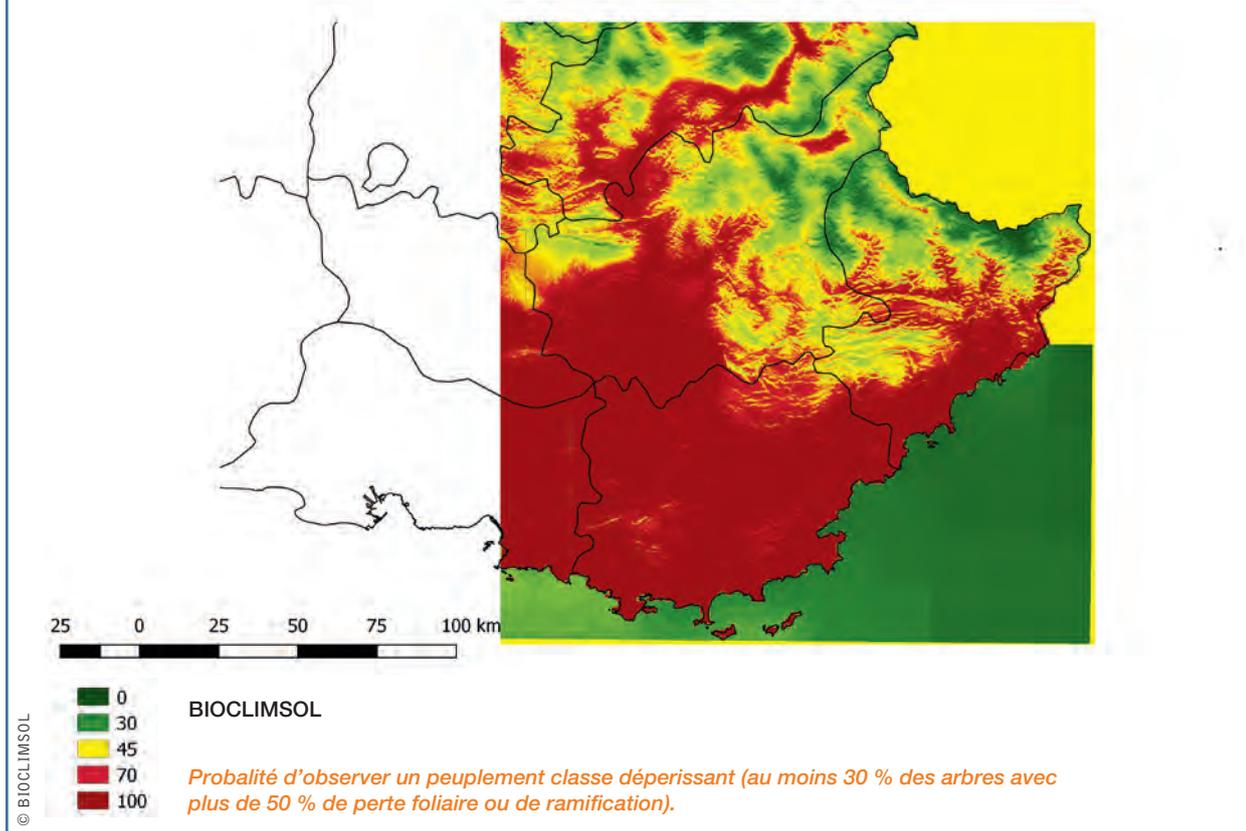
## Résultats

Le pin sylvestre présentait un fort taux moyen de défoliation (48 %) début 2017. Ce dernier était plus élevé en versant chaud, à basse altitude et en haut de versant. Une large majorité des peuplements analysés étaient dépérisants (61 %) au sens du DSF<sup>2</sup>, et seules 3 placettes (3,3 %) avaient un taux moyen de défoliation inférieur à 30 %.



*Pin sylvestre ayant dans son houppier environ 30 % de taux de recouvrement de gui. Le risque de dépérissement est maximal pour les peuplements situés sur stations sèches et ayant un taux de gui moyen supérieur à 10 % (taux moyen estimé sur l'ensemble des houppiers).*

## Carte de vigilance climatique BIOCLIMSOL pour le pin sylvestre en région PACA



### Le premier facteur explicatif du déperissement est la présence de gui.

Ce dernier étant thermophile, la probabilité de rencontrer des arbres gütés est bien plus élevée là où le pin sylvestre est soumis à un déficit hydrique important et de fortes températures. Par ailleurs, les arbres gütés sont plus sensibles à la sécheresse. Changement climatique et gui renforcent donc mutuellement leurs effets néfastes.

### L'analyse des cernes montre l'effet du changement global :

- au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, la productivité progresse avec l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> et l'allongement de la saison de végétation, surtout pour les pins situés à basse altitude ou sur bonne station ;
- à partir des années 1990, la croissance chute en raison de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, surtout pour les pins situés sur de bonnes stations, car il y est peu habitué au stress hydrique.

**La productivité du pin sylvestre se réduit avec l'âge (à partir de 80 ans environ) et la densité.** Auparavant, les peuplements denses et les peuplements clairs suivaient les mêmes tendances en termes de variations temporelles de productivité, liées au climat. Or, depuis les années 2000, les peuplements denses sont

beaucoup moins résistants et résilients aux sécheresses extrêmes, à station égale. La mortalité y est plus forte.

Par ailleurs, l'étude des cernes montre qu'il s'écoule environ 20 ans entre l'installation du gui sur un arbre et l'apparition d'effets négatifs forts sur sa croissance, et 40 ans avant que sa santé et sa croissance ne soient définitivement compromises.

Enfin, l'analyse des attaques de chenille processionnaire entre 1970 et 2017 montre que les pullulations les plus fortes se reproduisent sur les mêmes sites. L'effet est fort et répété sur les peuplements concernés : les pertes de croissance y sont significatives (27 % en moyenne). Plus les sécheresses sont fréquentes, plus il est probable qu'elles se produisent durant une pullulation de chenilles, et que les effets des deux facteurs se cumulent et s'accroissent mutuellement. C'est ainsi que, lors de la dernière pullulation en 2015, certains arbres déjà affaiblis ont été totalement défoliés, ce qui provoqua leur mort.

### Outils

#### 1) Carte de vigilance climatique

La présence du gui étant corrélée au climat, il est possible de cartographier une probabilité de présence du gui et ainsi une probabilité de

dépérissement, le gui étant son premier facteur explicatif en terme statistique (il est à la fois facteur prédisposant sur le long terme, et aggravant lors des sécheresses).

La carte de vigilance climatique ainsi établie est basée sur des données climatiques et ne tient pas compte du sol. En zone de vigilance maximale, les chances que le sol compense le climat sont faibles : les pins dépérissants sont fréquents même en bonne station. C'est l'inverse en zone de vigilance modérée : même sur mauvais sol, des peuplements sains peuvent être présents.

La majorité des peuplements de pin sylvestre de la région PACA est située en vigilance climatique élevée. La tendance s'aggravera à l'avenir, la carte étant construite avec les données climatiques actuelles.

## 2) Clé d'aide à la décision

Elle combine la carte de vigilance climatique avec des données de station recueillies par l'utilisateur sur le terrain (état sanitaire, sol, topographie) et définit trois niveaux de risque. Les situations les plus à risques sont celles avec :

- ➡ une forte présence de gui (> 10 % de taux moyen de recouvrement des houppiers) ou de chenilles processionnaires (> 1 nid/arbre en moyenne),

- ➡ des peuplements âgés (> 90-100 ans) et denses,
- ➡ un bilan hydrique topo-édaphique défavorable,
- ➡ une vigilance climatique élevée ou maximale.

Des recommandations de gestion sont associées au niveau de risque :

- ➡ **pour les cas de fort dépérissement**, il est conseillé de tendre vers la conversion en changeant d'essence (reboisements en plein ou par enrichissement) ;
- ➡ **pour les cas intermédiaires** (peuplements avec des signes de dépérissement mais étant encore capables de résilience d'après la carte et la station), l'enjeu est de gérer le pin sylvestre de façon à le faire perdurer le plus longtemps possible (régénération des arbres les plus vieux, éclaircies éliminant les arbres guités et favorisant les arbres « parasol » jouant un rôle d'ombrage...), tout en privilégiant le mélange avec d'autres essences ;
- ➡ **pour les cas les plus favorables**, gérer le peuplement est fortement conseillé en raison du risque croissant de sécheresses et d'une meilleure résistance des peuplements clairs.

Les résultats obtenus pour le pin sylvestre à l'échelle de la région PACA seront testés dans les autres régions en vue d'une intégration dans l'outil Bioclimsol<sup>3</sup>. ■

<sup>3</sup> Outil de diagnostic du peuplement intégrant le climat et ses extrêmes, et les conditions de terrain en cours de développement par le CNPF. Pour en savoir plus : <https://www.foretprivedefrancaise.com/n/bioclimsol/n:558> et dans Forêt-entreprise : Lemaire J., 2014. *BioClimSol : un outil d'aide à la décision face au changement climatique*. Forêt-entreprise n° 218.

2015	SYLFORCLIM
Forêts méditerranéennes et alpines face aux changements climatiques en Provence-Alpes-Côte d'Azur	
Pauline Marty	CNPF-CRPF PACA

**Remerciements** : Nous remercions le Labex ARBRE, le RMT AFORCE et la DRAAF PACA pour leur soutien. Ce projet a été mené par le CRPF, l'IRSTEA et l'IDF. Les partenaires locaux dont le DSF, l'ONF et les gestionnaires de la forêt privée ont été associés.

### Résumé

En Provence-Alpes-Côte d'Azur, le pin sylvestre présente des signes de dépérissement de plus en plus notables. Le gui joue un rôle prépondérant dans ce phénomène, et est d'autant plus présent que les conditions climatiques sont sèches. La topographie, le sol et la présence de chenilles processionnaires sont les autres facteurs explicatifs. Un outil incluant une carte de vigilance climatique a été conçu afin d'aider le gestionnaire dans sa prise de décision.

**Mots-clés** : Pin sylvestre, dépérissement, outils d'aide à la décision.

### Bibliographie :

- Marty P., Vennetier M., Lemaire J., 2018. *Rapport final Sylforclim*- 85p.- Téléchargeable sur le portail ResearchGate.
- ONF, 2016. *Observatoire du dépérissement des forêts des Alpes-Maritimes* - Bilan de la campagne d'observations de 2016, 18p
- Thabeet A., 2008. *Réponse du pin sylvestre (Pinus Sylvestris L.) aux changements climatiques récents en région méditerranéenne française: spatialisation et quantification par la télédétection et la dendrochronologie*. Université Paul-Cézanne Aix-Marseille III, 282p.
- Vennetier M., Borgniet L., Thabeet A., Gadbin-Henry C., Ripert C., Vila B.; Prevosto B., Esteve R., Martin W., Ndyaye A., 2008. *Impact de la canicule 2003 sur les peuplements résineux de la région PACA*.



<https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/loire-drome-ardeche-rechauffement-climatique-decime-pins-asseche-forets-1725887.html>

# Un outil en ligne pour accompagner le choix des essences forestières dans un contexte de changement climatique

Par Sophie Bertin, EKOLOG<sup>1</sup>, Myriam Legay, AgroParisTech, Brigitte Musch, ONF, Eric Paillassa, Céline Perrier, CNPF-IDF, Alexandre Piboule ONF

<sup>1</sup> Société de conseil, recherche et formation en environnement.

*Le choix des essences forestières constitue un élément central de décision. Il engage le forestier sur le long terme. Cet enjeu est aujourd'hui crucial dans un contexte de changement climatique et avec l'incertitude qui pèse sur les évolutions possibles du climat et les réponses des peuplements forestiers. Une essence-objectif doit résister au climat actuel et être adaptée à un climat futur imparfaitement connu.*

<sup>2</sup> Autécologie : la science des réponses biologiques de chaque espèce aux facteurs abiotiques [4]

## Un outil pour le choix des essences

Pour répondre à cet enjeu, les acteurs se sont mobilisés au sein du RMT AFORCE pour développer un outil en ligne qui doit accompagner le décideur forestier travaillant à une échelle locale ou régionale, l'expérimentateur Recherche et Développement de terrain et le pépiniériste dans le choix des essences forestières dans un contexte de changement climatique. Les premiers développements ont été présentés lors du dernier colloque organisé par AFORCE en avril 2019. L'outil sera disponible courant 2020. Il permettra de guider les utilisateurs dans le choix des essences à favoriser dans un contexte de changement climatique parmi :

- celles en place,
- des provenances différentes et de nouvelles essences à planter lors d'un renouvellement ou d'un enrichissement,
- celles à expérimenter.

L'outil s'appuie sur les travaux multipartenaires réalisés dans le cadre de plusieurs projets (NOMADES [1], CARAVANE [2], IKSMAPS [3]). Il est complémentaire des outils existants ou en cours de développement et sera évolutif.

L'outil proposera trois modules principaux pour les utilisateurs. Ils correspondent à des questions pratiques opérationnelles et reflètent les types d'usages possibles du site :

- « **Améliorer la connaissance des espèces forestières** » : caractériser l'autécologie d'essences du monde entier à partir d'un certain nombre de données spécifiques autécologiques<sup>2</sup> ;



*Tulipier de Virginie essence nord-américaine à grain fin utilisée aussi bien en menuiserie qu'en lutherie »*

<sup>3</sup> Sylvoécocorégion (SER) : vaste zone géographique du territoire métropolitain à l'intérieur de laquelle les facteurs déterminants la production forestière ou les habitats forestiers varient de façon homogène.

▣ « **Découvrir des évolutions du climat** » : explorer le changement climatique et ses incertitudes à travers la visualisation de données climatiques modélisées pour le climat actuel et pour les climats futurs (avec une représentation sous forme de scénarios futurs) ;

▣ « **Choisir les essences dans un contexte en évolution** » : faire des choix d'essences, à partir d'une analyse de données spécifiques autécologiques ou d'une projection des données de modélisation des aires de compatibilité pour le climat actuel et pour différents scénarios futurs.

L'utilisateur pourra y trouver des informations sur les potentialités d'un grand nombre d'essences forestières, sur leurs exigences autécologiques et climatiques, sur leur plasticité, sur leur compatibilité avec le climat en un secteur donné selon des scénarios et horizons temporels variés, et sur la qualité de leur bois. Les données de modélisation sur les aires de compatibilité climatique fournissent des représentations simplifiées des exigences des espèces par rapport au climat. Connaissant le climat en une sylvoécocorégion<sup>3</sup> (SER) et pour une période de référence actuelle ou future, les données de modélisation serviront à évaluer si cette SER est climatiquement favorable ou non à la présence d'une espèce donnée. Chacune de ces informations, qu'elle soit textuelle, graphique ou sous forme de carte, sera associée à un degré de fiabilité de l'information ou à une représentation des incertitudes. Les lacunes de connaissances seront aussi mises en avant.

## Accessible à tous

Une attention particulière sera portée à l'élaboration d'une aide en ligne et à la mise à disposition de tutoriels qui accompagneront l'édition de cet outil. Ils sont indispensables pour familiariser l'utilisateur à l'outil et ses limites et pour l'aider à naviguer efficacement entre ces trois modules en fonction des questions techniques qu'il pourrait se poser. Des mises en garde seront également présentées afin de prévenir d'éventuelles utilisations et interprétations erronées des résultats, et de limiter autant que possible les erreurs d'introduction et de plantation. Par exemple, il sera indiqué que les représentations cartographiques, de par leur résolution de 1 km<sup>2</sup>, ne sont pas utilisables à l'échelle de la parcelle, mais à l'échelle de la SER. Les informations fournies seront un accompagnement à la décision, mais ne devront aucunement se substituer à une expertise de terrain. ■

### Résumé

Un outil en ligne est actuellement développé afin de répondre à l'enjeu du choix des essences forestières dans un contexte de changement climatique où l'incertitude pèse sur les évolutions possibles du climat et les réponses des peuplements forestiers. Cet outil accompagnera le décideur forestier travaillant à une échelle locale ou régionale, l'expérimentateur Recherche et Développement de terrain et le pépiniériste dans le choix des essences forestières dans un contexte de changement climatique.

**Mots-clés :** Choix des essences, changement climatique, outil d'aide à la décision

**Remerciements :** Nous remercions le RMT AFORCE et le Labex ARBRE pour leur soutien.

### Bibliographie

[1] NOMADES : nouvelles méthodes d'acclimatation des essences forestières ;

Le Bouler H., Legay M., Riou-Nivert P., 2014. *Le climat change, vite, trop vite... Comment aider les arbres à le suivre ?* Forêt Entreprise n° 217 in Dossier « Changement climatique : de nouveaux outils pour guider l'adaptation ». p. 26-29.

Riou-Nivert P. *et al.*, 2013. *Quelles essences pour quelles régions ? Inventaire des essences susceptibles d'être intéressantes et acceptables pour relayer les essences autochtones.* Projet Nomades, Fascicule 5. CNPF, INRA, ONF, SFCD. 14 pages. ;

[2] CARAVANE : Catalogue raisonné des variétés nouvelles à expérimenter ;

Musch B. *et al.*, à paraître 2019. *Rapport final du projet Caravane.*

[3] IKSMAPS 1 et 2 : production de cartes pré calculées d'évolution des aires climatiques des principales essences de la foresterie française à l'aide du modèle IKS. *Volet 1 - Évaluation du modèle et cahier des charges de l'outil d'aide à la décision. Volet 2 - Développement d'un service sylvoclimatique basé sur le modèle IKS.*

Legay M., 2017. *Projet IKSMAPS1. Adaptation des forêts au changement climatique.* Rapport final du projet RMT AFORCE. ONF. 46 p. + annexes

Legay M., 2018. *Rapport final du projet IKSMAPS2 : développement d'un service sylvoclimatique basé sur le modèle IKS.* 25 p. + annexes

[4] Michelot A., Gachet S., Legay M. & Landmann G., 2013. *L'autécologie des essences forestières et son intégration dans les outils d'aide à la décision : synthèse et évaluation. Étude menée dans le cadre du projet TRAITAUT « Traits fonctionnels et autécologie des essences forestières ».* 44 p. Disponible sur : [http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Autecologie\\_outils\\_Traitaut\\_020513.pdf](http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Autecologie_outils_Traitaut_020513.pdf)

2015	CARAVANE
CAAtalogue RAisonné des VAriétés Nouvelles à Expérimenter	
Brigitte Musch	ONF

2017	IKSMAP 2
Production de cartes pré calculées d'évolution des aires climatiques des principales essences de la foresterie française à l'aide du modèle IKS	
Myriam Legay	ONF

# Évolution des risques forestiers et initiatives en cours pour en améliorer la gestion

par Christophe Orazio, EFI

*Réchauffement climatique, globalisation des échanges, urbanisation, le changement global a des impacts conséquents sur nos forêts ; heureusement de nombreuses initiatives au niveau national et international émergent pour améliorer notre gestion de ces risques.*



Inge van Halder © INRA, Biogeco

*Monochamus galloprovincialis, vecteur en Europe du mélatode du pin.*

La graphiose de l'orme des années 1980 semble bien loin tant de nouvelles catastrophes ont affecté nos forêts depuis. Bien sûr les forestiers ont en mémoire les tempêtes de 1999 et 2009 abattant à elles deux plus de 200 millions de mètres cube de bois<sup>1</sup>, de même que les grands incendies de 2017 qui ont parcouru plus de 300 000 ha en Espagne et au Portugal ou encore les scolytes qui ont généré plus de 40 M de m<sup>3</sup> de dégâts en Europe centrale. À ces crises majeures s'ajoutent des attaques plus sournoises telles la Chalarose du frêne, dont le front a traversé la France en 10 ans, ou le nématode du pin qui affecte les pins maritimes portugais et taquine les frontières espagnoles.

## Une ressource forestière plus abondante exposée à des risques plus importants

Ce rapide aperçu des problèmes forestiers survenus ces dernières années confirme une tendance observée au niveau mondial : les dégâts induits par les risques forestiers

augmentent. Le changement global est le principal responsable de cette augmentation des menaces qui pèsent sur les forêts européennes dont les volumes et les surfaces ont considérablement augmenté au cours du siècle dernier. La libre circulation due aux échanges internationaux en est la deuxième cause et est loin d'être négligeable.

**Le réchauffement climatique** se traduit par des saisons plus chaudes et des périodes de sécheresse plus longues<sup>2</sup>. Il peut affecter à la fois la capacité des arbres à réagir aux agresseurs et la faculté des ravageurs à les attaquer. La prolifération des scolytes est un cas d'épèce : les peuplements d'épicéa de plaine sont exposés à des sécheresses plus longues qui les affaiblissent<sup>3</sup> ; dans le même temps, l'insecte peut se reproduire et en augmentant le nombre de générations annuelles, ce qui crée une épidémie qui entraîne la mortalité des arbres. On estime ainsi que la quantité de bois issu d'arbres morts par les scolytes, qui était en moyenne de 2,1 millions de m<sup>3</sup> par an dans

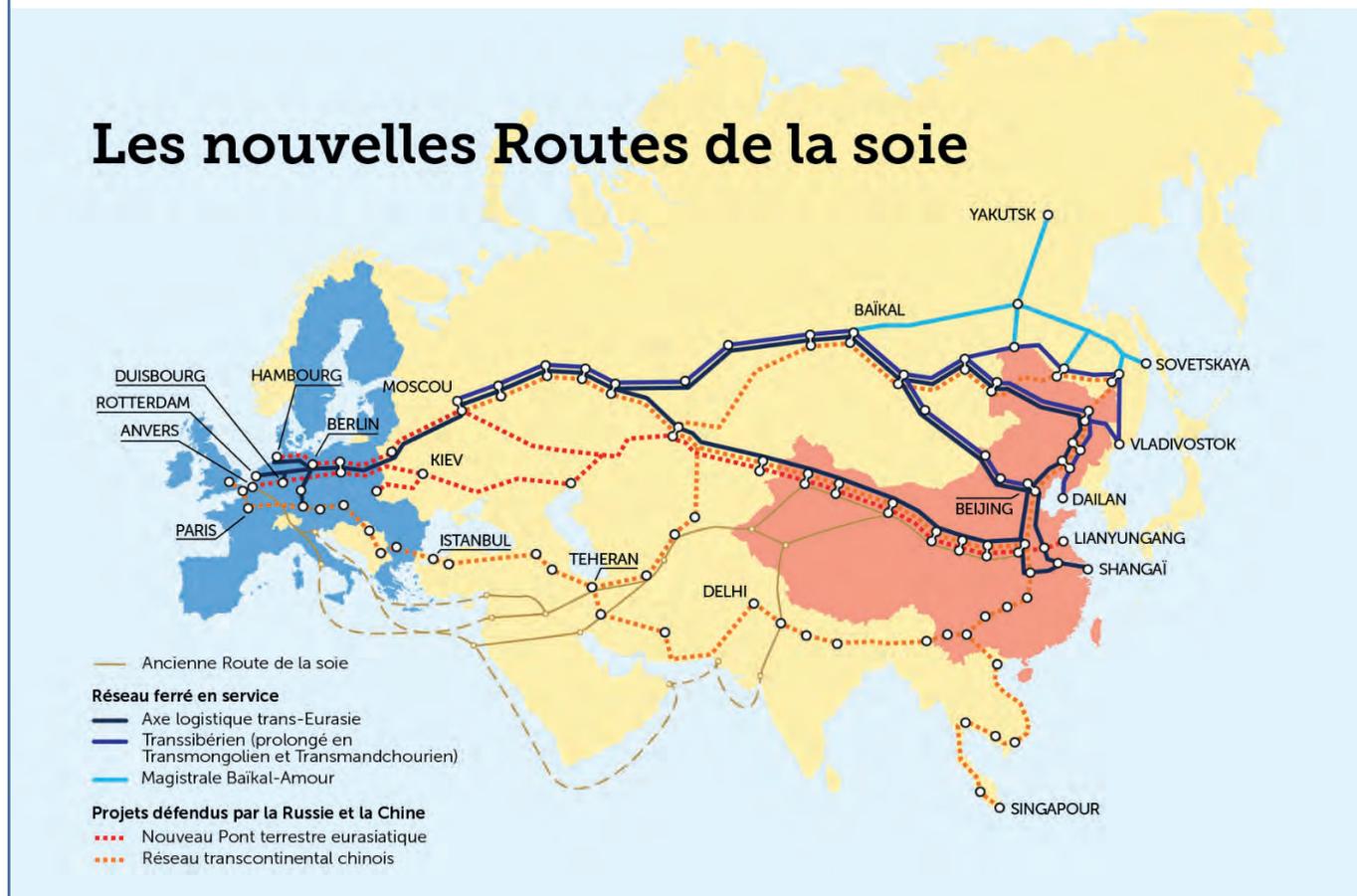
<sup>1</sup> Perrier *et al.*, 2013.

<sup>2</sup> Orazio *et al.*, 2014.

<sup>3</sup> Melieres, 2019

Figure 1 - Augmentation des échanges commerciaux : les nouvelles Routes de la soie

Source : <https://www.les-crisis.fr/wp-content/uploads/2014/11/nouvelle-route-de-la-soie.png>



<sup>4</sup> Source : <https://www.efi.int/publications-bank/living-bark-beetles-impacts-outlook-and-management-options>

les années 1970, pourrait passer 14,5 millions par an à cause du changement climatique<sup>4</sup>. De même, on s'attend à ce que la diminution des sols gelés dans les régions nordiques et l'augmentation des intensités des tempêtes hivernales induisent des dégâts de tempêtes plus importants dans les pays du nord et du centre de l'Europe.

**L'augmentation des échanges commerciaux**, conséquence de la mondialisation est un autre facteur qui favorise l'émergence des risques biotiques en forêt. Le nématode du pin aurait ainsi été introduit par la construction d'un pavillon bois japonais lors de l'exposition universelle de Lisbonne en 1998. Il est aussi fréquemment décelé dans des palettes mal traitées, symboles du transport de marchandise de notre époque ultra-connectée mais qui est source de négligences. De plus, la Chine investit massivement sur des infrastructures ferroviaires et portuaires raccourcissant les temps de transport et augmentant les volumes échangés de produits frais tels que des arbres en pot ou de produits bois non traités. C'est ainsi que le Chalara serait venu d'Asie du sud-est et que d'autres agents pathogènes pourraient être amenés d'une partie du monde où l'on retrouve les mêmes genres d'arbres fores-

tiers que chez nous : Quercus, Fagus, Pinus...

Une troisième composante peut être évoquée, **l'urbanisation**. Elle a aussi un effet sur les risques en forêt. En effet, les populations urbaines sont peu informées sur les causes de départ de feux et peuvent en être à l'origine ou en être les victimes.

C'est donc dans ce nouveau contexte, résultat de quelques décennies de transformation de notre société et de notre climat, qu'il faut adapter les forêts pour espérer produire toute la ressource, dont la nouvelle économie basée sur des ressources renouvelables va avoir besoin.

### Des initiatives multiples pour prévenir ces risques en hausse

La gestion du risque comprend un cycle que l'on aime représenter ainsi :

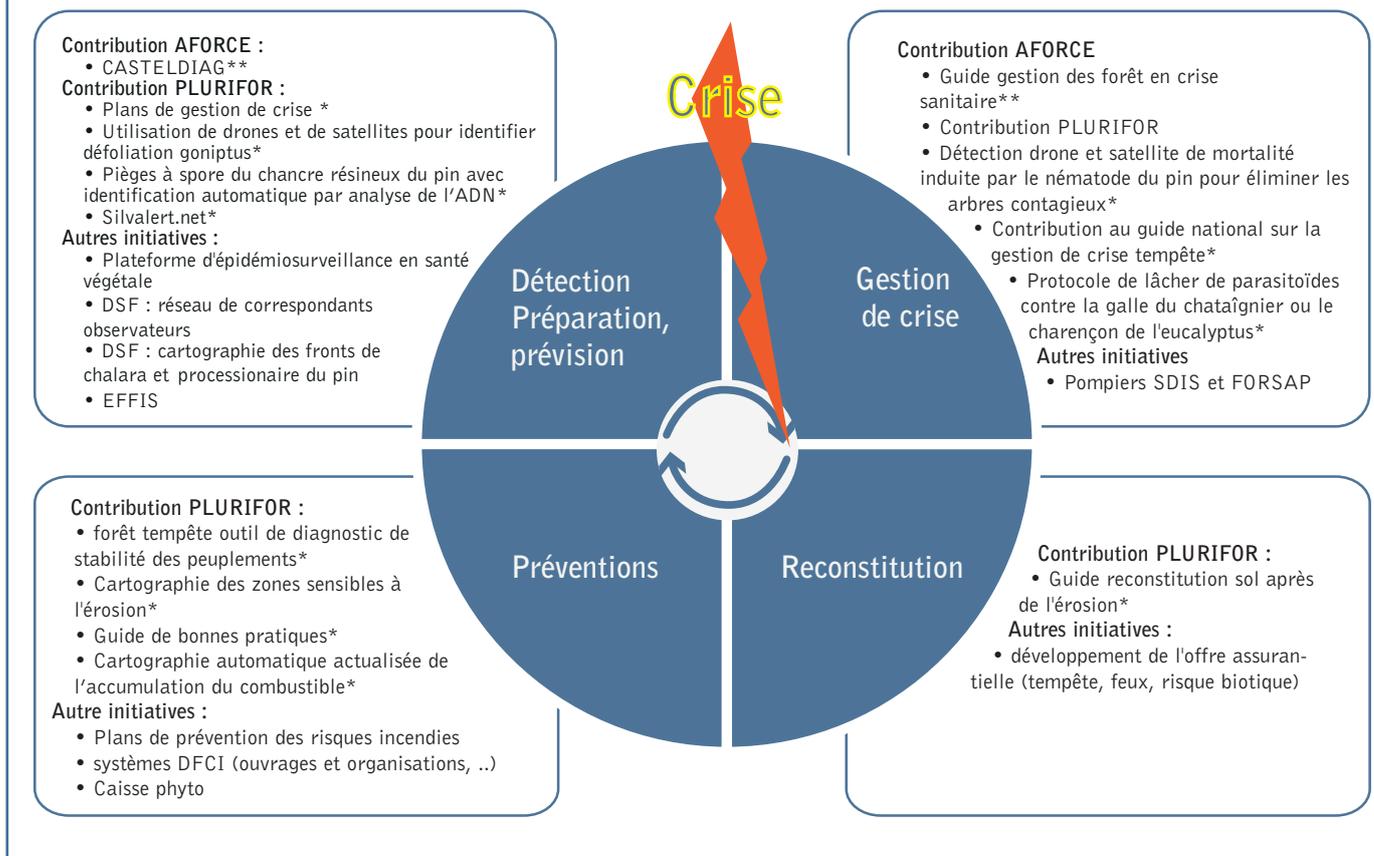
► **La prévention** regroupe toutes les actions qui veulent limiter l'apparition d'un aléa qui impacterait la productivité ou la survie du massif forestier. Si les mesures de prévention, telles que le débroussaillage, sont bien connues pour la gestion du risque incendie, elles le sont moins pour le risque vent. Il est possible par exemple d'utiliser le logiciel produit par le

#### Vidéo



<https://www.franceculture.fr/emissions/la-grande-table-idees/quelle-part-de-notre-humanite-brule-avec-la-foret>

Figure 2 - Le cycle de gestion du risque et quelques initiatives s'inscrivant dans la gestion des risques forestiers en France (\*\* AFORCE ; \* PLURIFOR)



projet Plurifor *Forêt tempête*<sup>5</sup> pour évaluer la stabilité d'un peuplement et l'exploiter avant que le risque de chablis ne devienne trop fort. Au niveau organisationnel, sur le modèle de la DFCI<sup>6</sup>, les sylviculteurs du Sud-ouest ont favorisé l'émergence d'une caisse phytosanitaire pour prendre en charge de manière communautaire des actions de préventions.

➡ **La prévision :** Le projet Plurifor, dans les outils qu'il a développés, propose des cartes de vulnérabilité des peuplements en fonction de leur structure et de leur composition. Pour le risque feu, le JRC<sup>7</sup> avec le service EFFIS<sup>8</sup> fournit déjà les cartes de combustible et le risque météo pour toute l'Europe actualisées en temps réel.

➡ **La détection/alarme :** La télédétection fait déjà ses preuves pour le feu avec les systèmes de guet et de nombreux sites Internet permettant de suivre l'évolution des feux et des surfaces brûlées en temps réel. Les nouveaux satellites permettent d'envisager un usage pour des risques plus compliqués à identifier tels que les risques biotiques<sup>9</sup>. Casteldiag<sup>10</sup>, financé par Aforce, ambitionne de détecter les peuplements de châtaignier dépérissant à partir d'images satellites. Plurifor cherche à identifier les attaques de défoliateurs de l'eucalyptus ou les mortalités induites par le nématode du

pin à l'aide de drones et de photos satellites au Portugal. Le projet Homed<sup>11</sup> développe des méthodes de piégeage de nouveaux insectes pour les détecter avant qu'ils n'arrivent dans nos forêts en surveillant les points d'entrée critiques que sont les ports et les aéroports. Ce travail facilitera la mission de la plateforme d'épidémiologie en santé végétale mise en place par le ministère en 2018 et chargée d'organiser la détection de nouveaux problèmes sanitaires en agriculture et forêt.

➡ **La gestion de crise :** Une fois que le constat de dégâts massifs est fait, il faut mobiliser les moyens nécessaires de manière coordonnée pour stopper le phénomène. Le réseau Aforce a ainsi pour objectif d'actualiser un outil générique en 2019 : le Guide de gestion des forêts en crise sanitaire<sup>12</sup> pour prendre en compte les nouveaux outils et l'expérience acquise au cours de la dernière décennie. Ce nouvel opus enrichi sera disponible en 2020. Dans un autre registre, Plurifor propose des outils complémentaires pour des crises ciblées par exemple des protocoles coordonnés et transfrontaliers de lâchers de parasitoïdes<sup>13</sup> contre la galle du châtaignier et le charançon de l'eucalyptus.

➡ **La reconstitution :** Quand les crises deviennent trop fréquentes, la résilience des

<sup>5</sup> Logiciel adaptant les équations d'un modèle anglais aux espèces françaises

<sup>6</sup> Défense des forêts contre les incendies.

<sup>7</sup> Centre commun de recherche (Joint Research Center en anglais) du European Forest Fire Information System ou Système européen d'information sur les incendies de forêt.

<sup>8</sup> EFFIS : European Forest Fire Information System. Cartes disponibles sur : [https://effis.jrc.ec.europa.eu/static/effis\\_current\\_situation/public/index.html](https://effis.jrc.ec.europa.eu/static/effis_current_situation/public/index.html)

<sup>9</sup> Liés à des êtres vivants

<sup>10</sup> Cf. article p. 40.

<sup>11</sup> <http://homed-project.eu/>

<sup>12</sup> Gauquelin, 2010.

<sup>13</sup> Parasites d'un vecteur de maladie.

# La gestion des risques forestiers par une collaboration internationale : le projet Plurifor-Interreg

Par Sarah Yoga et Christophe Orazio (EFI)

Ce projet, d'une durée de trois ans et coordonné par EFIPLANT<sup>1</sup> souhaitait créer ou améliorer des plans et des outils pour la gestion des risques forestiers (tempête, incendie, dégradation des sols, nématode du pin, guêpe du châtaignier, charançon de l'eucalyptus, chancre du pin et nouveaux ravageurs et pathogènes émergents) par une collaboration internationale. Financé par le programme Interreg Sud-Ouest (SUDOE) de l'Union européenne, le projet a rassemblé 11 partenaires et 21 partenaires associés (instituts de recherche, universités, organisations forestières, syndicats, associations, services) en France, en Espagne et au Portugal.

Au total, ce sont 13 plans intégrant les 27 outils qui ont été élaborés, tels que des protocoles de télédétection et de santé des forêts. L'application pour smartphone<sup>2</sup> permet de faire des rapports sur les dommages forestiers observés sur le terrain, des cartes sur la dégradation des sols et les combustibles forestiers, des modèles de vitesse et de hauteur des vents critiques, des protocoles de lutte biologique, des outils génétiques d'identification des champignons... Divers outils de communication multilingues (site Web, compte Twitter, circulaire etc.) ont également été créés pour sensibiliser, informer et promouvoir la participation des citoyens dans la gestion des risques forestiers.

<sup>1</sup> Unité de l'EFI (European Forest Institute) basée à bordeaux et dédiées aux forêts plantées

<sup>2</sup> Application Silvalert : <http://silvalert.net/?lang=fr>

<sup>13</sup> Obligation de s'assurer pour accéder aux aides à la reconstitution après tempête.

<sup>14</sup> Direction générale en charge de la protection des végétaux au niveau européen.

<sup>15</sup> Cf. article p. 39.

## Bibliographie

Gauquelin X. *et al.*, 2010. *Guide de gestion des forêts en crise sanitaire*. Edition CNPF-IDF. 96 p. Disponible sur : <https://www.reseau-aforce.fr/n/guide-de-gestion-des-forets-en-crise-sanitaire/n:440>

Orazio C., Stojnic S., Stojanovic D., Gartzia N., Hayes S., 2014. *Influence du changement climatique sur les forêts européennes et sur le secteur forestier* - www.rokfor.eu . 15238 [Traduction par AFORCE]. Disponible sur : <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.19533.49129>

Perrier C., Breda N., Peyron J.-L. & Picard O., 2013. *Vulnérabilité des forêts au changement climatique : quelques acquis de la recherche*. Forêt-entreprise n° 209. p. 49-56.

Melieres M.-A. & Riou-Nivert P., 2019. *Scolytes, chablis, canicules et changement climatique : un mélange explosif !* Forêt-entreprise n° 248. p. 54-60.

écosystèmes forestiers est en péril et il faut envisager des mesures fortes pour maintenir la continuité des services écosystémiques (production de bois, de champignon, stockage de carbone, chasse, paysage, qualité de l'eau...) rendus par la forêt. Une compagnie papetière portugaise a ainsi pu évaluer dans le cadre du projet Plurifor, que les pertes induites par l'érosion des sols ayant subi des incendies se chiffraient à plus de 1 million d'euros sur trois mois, justifiant fortement des travaux de restauration de ces sols. Dans un autre domaine, les assurances, suite à la nouvelle réglementation<sup>13</sup>, se positionnent de plus en plus en complément de l'État sur le marché de la reconstitution.

Les projets soutenus par Aforce au cours de ces dernières années apportent des solutions à certaines de ces étapes.

Une bonne gestion des risques en forêt passe par une prise en compte de l'ensemble de ce cycle. Il est donc important, dans un contexte d'augmentation de la pression des aléas que, comme ce fût fait depuis longtemps pour la gestion du risque incendie, les acteurs de la prévention et de la gestion des risques prennent le temps d'élaborer des plans pour anticiper et prévenir les menaces qui pèsent sur la forêt. Des initiatives comme le projet Plurifor, le plan de gestion du risque tempête élaboré par les services de l'État ou les mesures d'éradication et de contingence définies par la DG SANCO<sup>14</sup> dans le cadre des directives sur les organismes de quarantaine sont autant d'initiatives à encourager et à généraliser. Elles contribuent à ce que, dans un avenir proche, tous les acteurs forestiers privés et institutionnels connaissent les conduites à tenir pour réagir de manière efficace à l'augmentation des menaces qui pèsent sur nos forêts.

## De la gestion spécifique de chaque risque à la gestion intégrée des risques

La difficulté ultime est de mettre en cohérence les propositions contradictoires qui pourraient être faites pour chacun de ces risques. C'est dans cette perspective que des approches intégrées multirisques telles que le projet Multirisks<sup>15</sup> sont nécessaires même si elles sont très complexes. L'étude des risques pris individuellement est importante, mais il est indispensable de considérer l'interaction entre eux : cumul, agrégation, entraînement (création d'un terrain favorable à d'autres risques), etc. Dans une approche totalement intégrée, tous les risques devraient déjà être pris en compte dans les réglementations et les actes de gestion, seule manière de rendre des systèmes forestiers totalement résilients. Ne doutons pas qu'Aforce et tout son réseau ainsi que les partenaires européens de l'EFI auront un rôle à jouer pour atteindre cet objectif ultime... ■

### Résumé

Le changement global (réchauffement climatique, augmentation des échanges commerciaux, urbanisation) est à l'origine de risques forestiers importants (tempêtes, incendies, dissémination de pathogènes, etc.). La gestion du risque comprend la prévention, la prévision, la détection/alarme, la gestion de crise et la reconstitution. De nombreuses initiatives émergent à chaque étape pour améliorer notre gestion de ces risques. Les approches intégrées multirisques sont nécessaires pour mettre en cohérence ces initiatives.

**Mots-clés :** Risque, gestion forestière.

En savoir <sup>+</sup>

<https://plurifor.efi.int/fr/>

# Évaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation

Par Hervé Jactel et Céline Meredieu, INRA

*L'élévation des températures, l'intensification des sécheresses ou l'allongement de la saison propice aux incendies sont voués à augmenter les dégâts forestiers, directement en tuant les arbres ou indirectement en favorisant la pullulation d'insectes ravageurs ou l'émergence de maladies. Ainsi, il apparaît de plus en plus important de prendre en compte l'interaction des aléas et le temps long de leurs impacts.*

L'objectif du projet MULTIRISKS est d'analyser les impacts bioéconomiques des interactions entre aléas sur la ressource forestière de pin maritime en Nouvelle-Aquitaine et d'identifier des itinéraires sylvicoles permettant de les atténuer simultanément. Des simulations ont été réalisées à l'aide du modèle Pinuspinaster développé sur la plateforme CAPSIS<sup>1</sup> pour évaluer les impacts de deux aléas : les attaques d'un champignon racinaire, le fomes du pin (*Heterobasidion annosum* s.s.) et **les infestations d'un défoliateur, la processionnaire du pin** (*Thaumetopoea pityocampa*). La grande originalité de l'étude est d'estimer les effets cumulés sur la productivité des peuplements pendant toute la durée d'une révolution sylvicole, ce qui est impossible avec les observations de terrain disponibles actuellement.

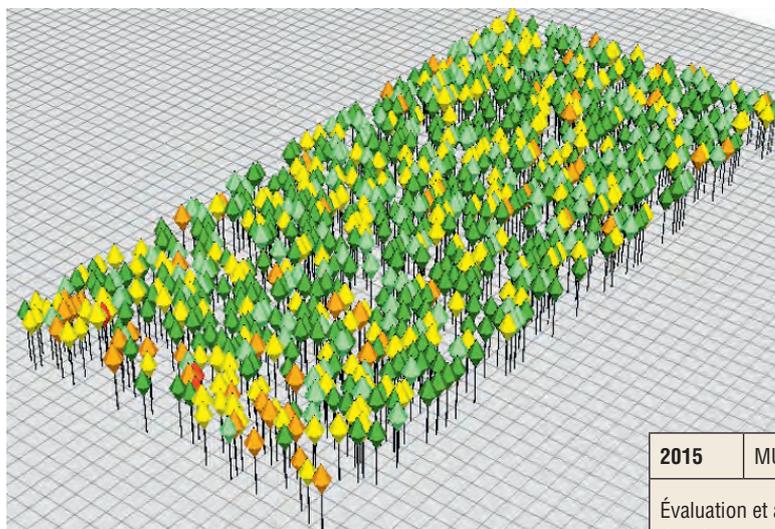
Les premières simulations tenant compte des variations interannuelles des infestations de processionnaires montrent que les pertes en surface terrière relatives (comparativement au même peuplement indemne), cumulées sur une durée de rotation de 42 ans, varient de 0,1 % (pour des peuplements avec 10 % d'arbres attaqués annuellement) à 13 % (pour les 5 % de peuplements les plus défoliés, soit avec 54 % d'arbres attaqués annuellement). Les simulations portant sur les seules infections au fomes montrent un cumul de 15 % des arbres infectés en fin de rotation mais un faible nombre d'arbres morts imputables au champignon. Les effets individuels des deux aléas pris séparément sont donc assez faibles mais le résultat le plus intéressant est que **lorsque ces deux agents de dégât sont combinés**, leurs effets sont amplifiés, sûrement en raison d'une rétroaction positive et réciproque : les mortalités liées au fomes réduisent la densité du peuplement ce qui favorise les attaques de processionnaire.

Les défoliations de la processionnaire affaiblissent les arbres qui meurent plus vite du fomes. Ces simulations qui intègrent des niveaux de fertilité et des régimes d'éclaircie variables montrent que **certaines combinaisons permettraient de moduler leurs impacts**. Sur ce principe, des scénarios de gestion proposés par les gestionnaires forestiers en Nouvelle Aquitaine, sont en cours d'évaluation. Enfin, il est prévu d'analyser l'impact de ces aléas sur l'évolution des marchés et sur le bilan carbone de la filière pin maritime en Nouvelle Aquitaine en utilisant les pertes de production consécutives à la réalisation de ces aléas comme variable d'entrée du modèle de filière forêt-bois<sup>2</sup> développé au BETA. ■

Remerciements : Ce projet a été soutenu par le RMT AFORCE. Il associe des équipes de l'INRA (BIOGECO, H. Jactel ; UEFP, C. Meredieu et T. Labbé ; BETA, M. Brunette, S. Cauria), de l'EFI (EFIPLANT/IEFC, C. Orazio), des gestionnaires de la forêt publique (ONF) et privée (CNPF, CPFA) ainsi que des experts du Département de la Santé des Forêts.

<sup>1</sup> Plateforme dédiée à la simulation de la croissance et de la dynamique forestière développée par l'INRA : <http://www.inra.fr/capsis>

<sup>2</sup> Modèle FFSM : modèle bioéconomique de la filière forêt-bois française développé par le Bureau d'Économie Théorique et Appliquée (BETA). Il combine un module de ressource forestière et un module de marché du bois, fonctionnant en équilibre partiel et en dynamique récursive.



Copie d'écran d'une simulation de l'infestation par la processionnaire d'un peuplement de Pin maritime âgé de 28 ans (Capsis – modèle Pinuspinaster). Les différentes couleurs des arbres montrent des niveaux de défoliation simulés.

2015	MULTIRISKS
Évaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation	
Hervé Jactel	INRA

# Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection : exemple du châtaignier en Dordogne

Par Véronique Chéret, Michel Goulard et Yousra Hamrouni, Dynafor et Michel Chartier, CNPF-IDF

*Le projet Casteldiag souhaite déterminer l'état sanitaire d'un peuplement par télédétection en complément d'un diagnostic de terrain selon une méthode adaptée aux taillis de châtaignier. Le département de la Dordogne a été choisi comme zone d'étude. Il réunit autour d'un sujet commun le CNPF, le DSF, le groupe de travail châtaignier de l'IDF, l'IGN et l'UMR Dynafor.*



Véronique Chéret © UMR Dynafor

**Travail de concertation dans le cadre du programme Casteldiag**



Philippe Gaudry © CNPF

**Dépérissement de châtaignier**

<sup>1</sup> Plus d'information sur cette méthode dans Forêt-Entreprise : Dréno C., Caraglio Y., 2019. « Parlez-vous Archi ? » Les principales définitions de la méthode Archi. Forêt-entreprise n° 246 in Dossier « Dépérissements, décrite pour mieux agir ». p. 28-29.

<sup>2</sup> Dréno C., Bouvier M., & Lemaire J., 2015. *The diagnostic method ARCHI applied on declining pedunculate oaks.* Arboricultural Journal, 37 (3). p. 166-179.

<sup>3</sup> Pavie A., Bruno E., Dumé G., Dréno C., Lemaire J., et Torre F., 2008. *Guide des sylvicultures du châtaignier en Castagniccia.* CETEF – CRPF de Corse, 130 p.

## Objectifs du projet

Les objectifs du projet sont de :

- créer **un outil d'évaluation de l'état sanitaire des taillis de châtaignier**,
- constituer **une méthode cartographique permettant de suivre annuellement, à partir d'images satellites, la réponse des taillis de châtaignier aux aléas biotiques et abiotiques.**

L'outil d'évaluation de l'état sanitaire a été créé. Il est basé sur la méthode d'analyse architecturale des arbres (ou méthode Archi<sup>1</sup>), élaborée par le CNPF-IDF<sup>2</sup>. Il diagnostique les anomalies du développement (écarts à la normale) et les processus de résilience (retour à la normale).

La mise au point de la clé Archi châtaignier s'est également appuyée sur des travaux antérieurs réalisés en Corse<sup>3</sup> et sur une étude de terrain faite dans les Pyrénées orientales.

L'outil se présente sous forme d'une clé à multiples questions fermées se terminant par le résultat correspondant à l'état du brin de taillis.

La méthode cartographique s'appuie sur la télédétection, les résultats issus du traitement des données Sentinel-2 sont prometteurs. Plusieurs constats peuvent servir de base à la poursuite des travaux sur ce sujet.

L'utilisation de ce type d'information, même si c'est encore prématuré, pourrait être envisagée :

► pour les modèles à 3 classes, des diagnostics complémentaires sont à prévoir en priorité pour les classes de dépérissement notées 2 (avenir incertain selon le modèle de télédétection) afin d'évaluer les raisons et prévoir potentiellement des améliorations du peuplement (éclaircies, etc.). Les parcelles classées 3 ont un avenir déjà compromis et le renouvellement du peuplement (par parcelle ou par zone) sera ici au cœur des préoccupations. La classe 1 ne présente pas de problèmes sanitaires particuliers, mais mérite une attention sylvicole pour assurer une production de bois de châtaignier de qualité et maintenir cette ressource au risque de basculer dans un stade de dépérissement.

► les modèles à 2 classes mettent en avant la localisation des parcelles classées 2 nécessitant un diagnostic du conseiller forestier afin d'envisager le renouvellement ou l'amélioration du peuplement. L'information est ici moins détaillée que dans les modèles à 3 classes, mais permet d'axer sur les priorités du technicien de secteur.

Pour confirmer ou consolider le modèle de prédiction de l'état des châtaigneraies de Dordogne, il serait souhaitable de refaire un travail de calibration et de validation avec des images de 2018 et le jeu de référence terrain de cette même année.

La robustesse de ces modèles serait également à éprouver sur un autre territoire. ■

**Remerciements :** Nous remercions le RMT AFORCE pour son soutien ainsi qu'Airbus DS. L'Institut Géographique National et le Département Santé des Forêts sont partenaires de ce projet.

**En savoir <sup>+</sup>**

Voir article *Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection, le Châtaignier en Dordogne.* Forêt-entreprise n° 247 p. 46-50.

<b>2016</b>	CASTELDIAG
Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection : exemple du châtaignier en Dordogne	
Michel Chartier	CNPF-IDF

# Quelles pratiques sylvicoles pour l'adaptation des forêts au changement climatique ?

Par Philippe Balandier, Irstea<sup>1</sup> et Philippe Riou-Nivert, CNPF-IDF

*L'eau et la réserve en eau du sol sont essentielles pour l'avenir d'un peuplement. Quels sont les besoins de chaque essence et comment la sylviculture peut les préserver à bon escient ? La surface foliaire d'un peuplement ne serait-elle pas un indicateur pertinent pour aider le gestionnaire dans son diagnostic ?*

**A**u cours du colloque du RMT Aforce de 2019<sup>2</sup>, différents intervenants ont particulièrement mis l'accent sur la contrainte hydrique. La prise en compte de cette contrainte dans la sylviculture impose d'établir un bilan hydrique complet, c'est-à-dire de considérer à la fois les entrées et les sorties d'eau de l'écosystème. Il permet alors d'identifier les leviers sur lesquels le sylviculteur peut s'appuyer pour réduire autant que possible cette contrainte hydrique.

## Comprendre les différentes composantes du bilan hydrique

L'arbre s'alimente en eau dans le sol. Le réservoir qu'il peut utiliser (réserve utile en eau) est défini par la profondeur de ses racines (figure 1). Parmi les entrées d'eau qui alimentent ce réservoir, la pluie est l'élément

prépondérant, bien qu'une petite partie puisse aussi résulter de remontées capillaires des couches de sol les plus profondes. Parmi les sorties, l'évaporation de l'eau du sol et celle de la pluie interceptée par les végétaux jouent un rôle primordial, tout comme la transpiration de ces derniers. La somme de ces deux flux, l'évapotranspiration, est régulée par le rayonnement, la température, l'humidité de l'air et le vent. Une partie des pluies peut aussi être perdue par ruissellement ou drainage dans les horizons profonds du sol.

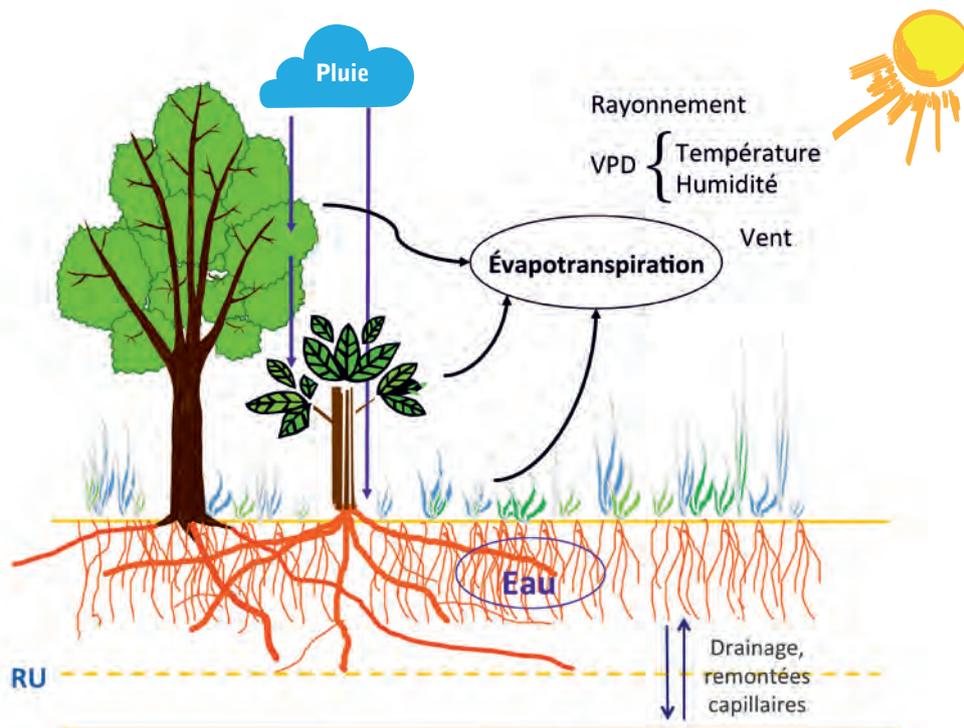
Le bilan hydrique peut devenir négatif, par diminution des entrées ou par augmentation des sorties. Ainsi, dans le cadre du changement climatique, il est important de signaler que l'accroissement du rayonnement et des températures peut conduire à un bilan hydrique

<sup>1</sup> Unité de Recherches sur les Ecosystèmes Forestiers (EFNO), Domaine des Barres, F-45290 Nogent-sur-Vernisson

<sup>2</sup> Colloque AFORCE 2019, Forêt et changement climatique, accompagner la décision d'adaptation 2 et 3 avril 2019 à Montpellier. Actes disponible sur : <https://www.reseau-aforce.fr/n/colloque-de-restitution-n/n:3616>



Figure 1 - Les différentes composantes du bilan en eau.



<https://youtu.be/GhQP9TbxXo8>

négalif par simple augmentation de l'évapo-transpiration en l'absence même de variation du régime des pluies.

### Sur quelles composantes le sylviculteur peut-il intervenir ?

Les principaux leviers étudiés dans les projets soutenus par le RMT Aforce et reliés au bilan hydrique ont été la caractérisation du comportement des essences, la caractérisation du sol et la régulation de la surface foliaire du peuplement.

Chaque essence a des caractéristiques propres, profondeur d'enracinement, régulation de la transpiration, qui influencent le bilan en eau. Parmi ces caractéristiques, **la vulnérabilité à la cavitation**<sup>2</sup> du système de transport de l'eau a été particulièrement étudiée. L'eau dans les vaisseaux du bois est sous tension, et ce d'autant plus que l'eau dans le sol devient rare. Au-delà d'un certain seuil de tension, une bulle d'air se crée, entraînant la cavitation du vaisseau qui devient non fonctionnel. Si de nombreux vaisseaux sont dans ce cas, l'arbre n'est plus alimenté correctement en eau. C'est un processus que le sylviculteur peut difficilement maîtriser, sauf à choisir des espèces plus résistantes à la cavitation. Pour une même espèce, mais seulement dans une certaine mesure, une acclimatation à des sécheresses de plus en plus sévères peut s'observer, c'est-à-dire que les propriétés du bois changent conduisant à la diminution du seuil de cavitation.

Parmi les caractéristiques du sol, **la profondeur prospectée par les racines** est une composante importante du bilan en eau mais sur laquelle le sylviculteur peut difficilement intervenir. Cependant, des travaux étudient l'influence de la composition du peuplement sur l'enracinement. Ainsi, selon le principe de la complémentarité, des espèces en mélange ayant des systèmes racinaires à différents niveaux, pourraient coloniser plus d'horizons, conduisant à une meilleure prospection du sol, et donc à l'exploitation d'un réservoir en eau plus grand. Cependant cette complémentarité n'est pas toujours observée et par ailleurs, paradoxalement, si la production du peuplement est augmentée, il aura consommé au total plus d'eau plus longtemps.

Finalement, la variable la plus simple que peut contrôler le sylviculteur est **la surface foliaire du peuplement**, via les éclaircies : la quantité de feuilles dans un peuplement et leur répara-

tion dans l'espace déterminent à la fois la transpiration des arbres et l'interception des pluies. Réduire la surface foliaire peut donc améliorer le bilan hydrique. Et c'est bien ce que montrent pratiquement tous les projets du RMT Aforce dédiés au sujet. Cependant, tout est une question de dosage : réduire trop fortement le nombre d'arbres peut conduire à une perte en volume sur pied et, par ailleurs, l'espace libéré par les arbres éclaircis peut rapidement être occupé par d'autres végétaux, arbustes et herbacées, qui interviennent aussi sur le bilan en eau.

### Finalement, raisonner le bilan en eau est une question globale

Le sylviculteur doit envisager le bilan en eau dans son ensemble : caractéristiques des espèces en présence, du peuplement (densité, âge, structure, surface foliaire), du sol et de son réservoir en eau, du climat et de son évolution probable. Par ailleurs le raisonnement n'est pas le même si l'on est dans un contexte de réduction probable de la croissance et donc de la productivité ou en limite de survie des arbres. Dans le premier cas, des aménagements légers par éclaircies peuvent suffire ; dans le deuxième cas, des aménagements drastiques doivent être envisagés. ■

<sup>2</sup> Cavitation : rupture de la colonne d'eau contenue dans les vaisseaux conducteur d'un arbre suite à une diminution de la disponibilité en eau et pouvant conduire à une embolie.

## En savoir +



Bertin S., Balandier P., Becquey J., Bonal D., Breda N., Perrier C., Riou-Nivert P., Sevrin E., 2016.

*Le bilan hydrique des peuplements forestiers : État des connaissances*

*scientifiques et techniques. Implications pour la gestion.* Bertin S., Perrier C. (Coord.), RMT Aforce, 190 p.

#### Résumé

Le bilan hydrique des peuplements sera particulièrement impacté par le changement climatique. De nombreux projets du RMT Aforce ont donc envisagé cette question en abordant notamment l'influence de la réduction de la surface foliaire via les éclaircies. Cet article rappelle pourquoi et comment le sylviculteur a intérêt à considérer cette variable d'ajustement.

**Mots-clés :** Bilan hydrique, sylviculture, réserve utile, surface foliaire.

# Améliorer la capacité du chêne sessile à répondre à des sécheresses extrêmes : Réduction de la densité des peuplements

Étude dendro-écologique<sup>1</sup> de réseaux d'expérimentations sylvicoles à long terme

par Anna Schmitt<sup>2</sup>, Raphaël Trouvé<sup>3</sup>, Claudine Richter<sup>4</sup>, Ingrid Seynave<sup>5</sup>, François Lebourgeois<sup>5</sup>

*Dans un contexte de changement climatique, les gestionnaires ont besoin de bases scientifiques pour adapter leurs itinéraires sylvicoles. Cela passe notamment par l'étude de l'influence de la compétition sur la réponse au climat et à ses variations.*

Pour adapter la forêt au changement climatique, le gestionnaire dispose de trois leviers principaux : **la meilleure connaissance des stations** (en particulier la capacité des sols à retenir l'eau et le bilan hydrique), **le choix des essences** et **la sylviculture** (notamment en réduisant la densité des peuplements). Le sylviculteur doit être accompagné pour mettre en place cette gestion innovante. La recherche doit pouvoir le guider vers des scénarios permettant d'améliorer la capacité du système à faire face au changement, tout en continuant à garantir les objectifs de gestion (qualité des produits bois et services écosystémiques).

## Méthodologie : utilisation du réseau GIS Coop

Créé au début des années 1990, le Groupement d'Intérêt Scientifique Coopérative de données sur la croissance des peuplements forestiers (GIS Coop) expérimente des traitements sylvicoles très contrastés sur cinq

essences françaises majeures (chênes sessile et pédonculé, douglas, pin laricio et pin maritime) dans des contextes pédoclimatiques variés<sup>6</sup>. Des inventaires dendrométriques sont réalisés périodiquement (4 à 10 ans) pour suivre les dynamiques des peuplements. Les gammes de sylvicultures très variées et les contextes pédoclimatiques couverts font de ces réseaux des outils essentiels pour étudier les interactions complexes entre sylviculture, climat et croissance et ainsi apporter des connaissances et des outils pour la définition de nouveaux itinéraires.

La croissance radiale annuelle des arbres, notamment celle du chêne sessile (*Quercus petraea*) étudiée ici, dépend de la disponibilité en eau et du niveau de compétition auquel il est soumis. **Nous supposons qu'en diminuant la densité du peuplement, la capacité du chêne à répondre à des événements extrêmes s'améliore.**

<sup>1</sup> Dendroécologie : étude des relations entre la croissance radiale des arbres et les facteurs du milieu.

<sup>2</sup> Université de Lorraine, AgroParistech.

<sup>3</sup> Department of forest and ecosystem science, University of Melbourne Austria.

<sup>4</sup> Département Recherche, développement et innovation Office national des forêts.

<sup>5</sup> Université de Lorraine, AgroParisTech, Inra, Silva

<sup>6</sup> Seynave *et al.*, 2018.

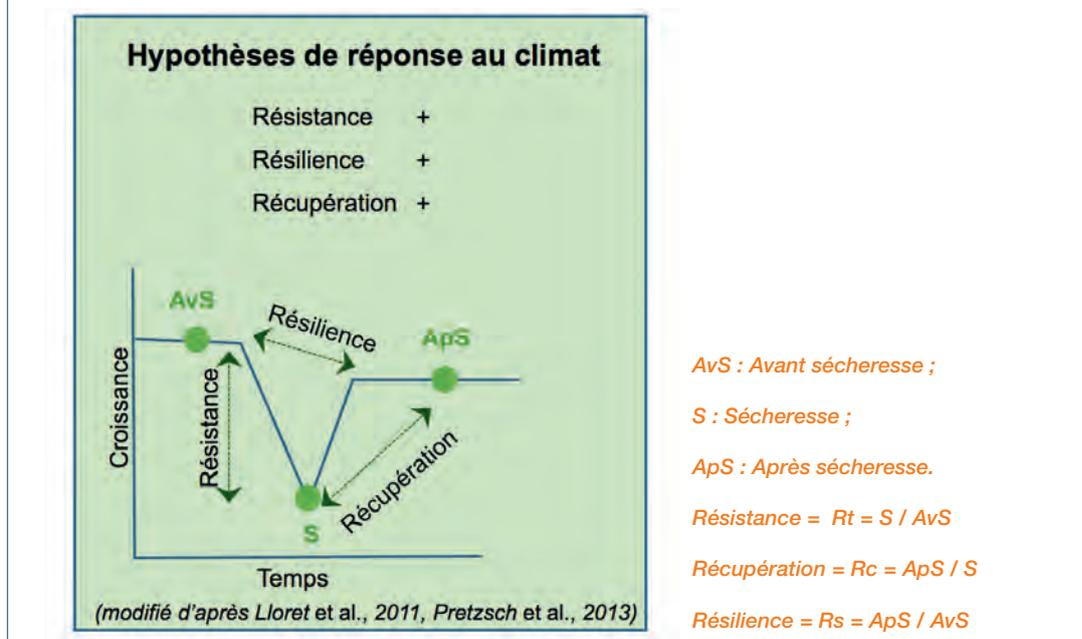
**Tableau 1 - Nombre d'arbres échantillonnés selon les conditions hydriques et la densité de peuplement.**

		Conditions hydriques			Total
		1 site « humide »	2 sites « mésophile »	1 site « sec »	
Densité	Forte (RDI ~ 0.9)	30	58	29	117
	Moyenne (RDI ~ 0.5)	-	53	28	81
	Faible (RDI ~ 0.2)	19	42	20	81
	<b>Total</b>	<b>49</b>	<b>153</b>	<b>77</b>	<b>279</b>

**RDI : Relative Density Index (REINEKE, 1933).** Le RDI est un indice de densité qui tient compte à la fois de la densité de tiges et de la surface terrière. Il est ainsi relativement indépendant de l'âge : un RDI proche de 1 correspond à un niveau de densité maximal ; un RDI proche de 0 correspond à un niveau de compétition très faible, où l'on peut considérer que les arbres sont en croissance libre ; un RDI de 0.5 correspond à la fourchette basse des préconisations actuelles en forêt publique. Les sites « humide », « mésophile » et « sec » ont respectivement un bilan hydrique estival moyen de - 182, - 126 et - 96 mm sur la période 1997-2012. Ce bilan hydrique estival a été calculé en faisant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle calculée selon la formule de Turc (Lebourgeois et Piedallu, 2005).

2016	ADAREEX
Adaptation de la gestion aux changements climatiques : une étude dendroécologique sur le chêne sessile à partir de réseaux d'expérimentations sylvicoles à long terme	
François Lebourgeois	AgroParisTech

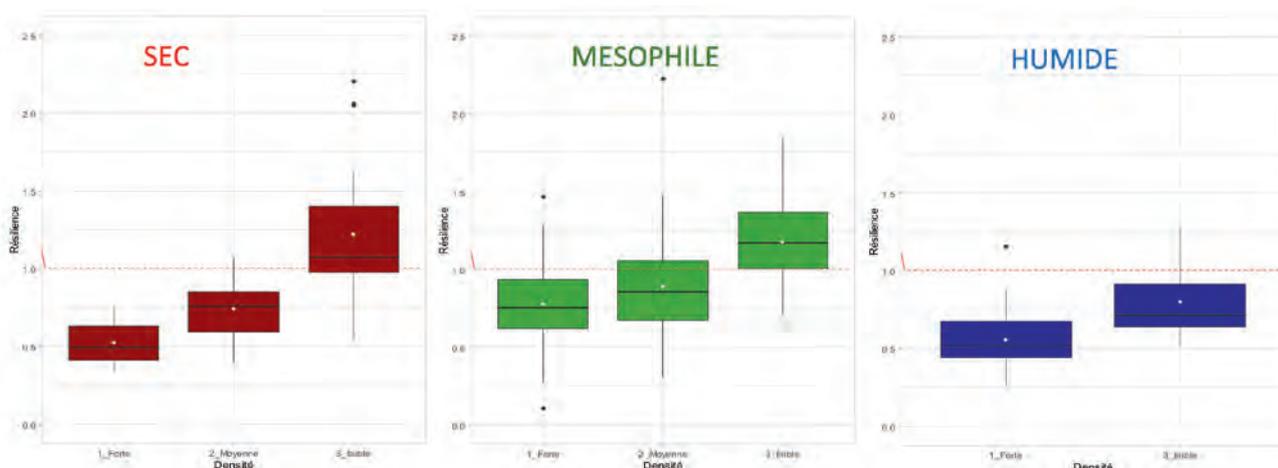
**Figure 1 - Présentation des hypothèses de l'étude en lien avec les définitions de résistance, résilience et récupération.**  
selon Lloret et al. 2011 et Pretzsch et al. 2013.



Pour analyser la réponse du chêne sessile au climat moyen (période 1997-2012) et à la sécheresse de 2003, nous avons mesuré les cernes d'arbres soumis à plusieurs traitements sylvicoles dans différentes régions (approche dendroécologique) (Tableau 1, p. 43). La réponse à la sécheresse de 2003 a été appréhendée à partir des trois indices classiquement utilisés (résistance, récupéra-

tion et résilience) (figure 1). Au total, 279 arbres soumis à des niveaux de compétition et à des conditions pédoclimatiques différents ont été carottés sur 11 placettes du réseau GIS Coop. Les placettes représentaient 3 conditions climatiques (sites « sec », « mésophile », « humide ») et trois densités de peuplement (« faible », « moyenne » ou « forte »). De plus, les arbres échantillonnés ont été choisis dans

**Figure 2 - Résilience des chênes à la sécheresse de 2003 en fonction des conditions hydriques et de la densité.**



*Les sites « humide », « mésophile » et « sec » ont respectivement un bilan hydrique estival moyen de -182, -126 et -96 mm sur la période 1997-2012 (bilan hydrique calculé en faisant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle calculée selon la formule de Turc (Lebourgeois et Piedallu, 2005)). Les densités « forte », « moyenne » et « faible » correspondent respectivement à des Relative Density Index (RDI) de 0,9 ; 0,5 et 0,2. Les pointillés rouges indiquent que les croissances avant et après la sécheresse sont les mêmes. Les valeurs en dessous indiquent une croissance moindre par rapport au niveau initial.*

différentes strates sociales, de manière à avoir des arbres dominants, co-dominants et dominés. Les placettes ont sensiblement le même âge : en moyenne, les chênes échantillonnés avaient 34 ans au moment du carottage (2012).

### Diminuer la densité améliore la réponse à la sécheresse

Comme attendu, la croissance moyenne des chênes est plus forte sur site « humide » et sous faible densité. Quant à la réponse à la sécheresse de 2003, le statut social n'a pas modulé la réponse, contrairement à la densité de peuplement. La réduction de cette densité a en effet amélioré la résistance, la récupération et surtout la résilience (c'est-à-dire le retour d'une bonne croissance) et ceci particulièrement pour le site sec. Par ailleurs, les arbres échantillonnés sur les meilleures stations avaient une résilience plus faible que sur les stations sèche et mésophile (figure 2).

### Perspectives : diminuer la densité ?

L'effet stationnel sur la résistance et la résilience a été montré sur des peuplements plus âgés<sup>7</sup>. L'analyse des réseaux GIS Coop, qui portent sur des peuplements plus jeunes et conduits selon des densités plus contrastées, montrent pour la première fois **un très fort effet de la sylviculture**. Bien que les expérimentations sur les réseaux sylvicoles à long terme doivent se poursuivre pour créer les outils d'aide à la décision les plus pertinents, nos résultats illustrent déjà bien l'influence de la sylviculture en cas de crise climatique

intense, mais aussi le rôle de l'adaptation locale des arbres dans leur réponse au climat. **Nous pressentons qu'il faudrait diminuer la densité du peuplement en dessous des seuils classiquement pratiqués pour améliorer la capacité des chênes à résister aux aléas**. Cependant, il faut pour l'instant rester vigilant face aux exigences de la sylviculture du chêne et aux objectifs de qualité. En effet, la forme et la qualité de l'arbre doivent être préservées<sup>8</sup> et la productivité maintenue dans tous les itinéraires sylvicoles<sup>9</sup>. ■

**Remerciements** : Nous remercions le Labex ARBRE et le RMT AFORCE pour leur soutien. Nous remercions également tous les membres du GIS Coopérative de données sur la croissance des peuplements forestiers (GIS Coop) et le Ministère en charge des forêts pour son soutien financier au GIS Coop. Nous tenons à remercier plus particulièrement les membres du groupe Chênes (ONF, Irstea, INRA et AgroParisTech) pour la gestion des dispositifs expérimentaux utilisés pour cette étude et la mise à disposition de leurs données.

#### Résumé

Le chêne sessile, essence forestière majeure en France, pourrait voir sa croissance de plus en plus affectée par des sécheresses comme cela a déjà été observé après les événements de 1976, 2003 ou 2018. Nous étudions ici l'effet de la réduction de la densité de peuplement (i) sur la réponse moyenne de sa croissance radiale au climat et (ii) sur sa résistance, résilience et récupération suite à la sécheresse de 2003. Nos résultats montrent que diminuer la densité de peuplement améliore la réponse à la sécheresse

**Mots-clés** : gestion adaptative, dendroécologie, sécheresse, croissance.

#### Bibliographie

Lebourgeois F. et Piedallu C., 2005. *Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques*. Revue de géographie alpine 57 (3): p. 331-56.

Lloret F., Keeling E. G., Sala A., 2011. *Components of Tree Resilience: Effects of Successive Low-Growth Episodes in Old Ponderosa Pine Forests*. Oikos 120 (12). p. 1909-1920. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x>.

Pretzsch H., Chütze G. et Uhl E., 2013. *Resistance of European Tree Species to Drought Stress in Mixed versus Pure Forests: Evidence of Stress Release by Inter-Specific Facilitation*. Plant Biology (Stuttgart, Germany) 15 (3) p. 483-95. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x>.

Reineke L.H., 1933. *Perfecting a stand-density index for even-aged forests*. Journal of Agricultural Research 46. p. 627-638.

Seynave I., Bailly A., Balandier P., Bontemps J.-D., Cailly P., Cordonnier T., Deleuze C. et al. 2018. *GIS Coop: Networks of Silvicultural Trials for Supporting Forest Management under Changing Environment*. Annals of Forest Science 75 (2). 48 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0692-z>.

Trouve R., Bontemps J.-D., Collet C., Seynave I., et Lebourgeois F., 2016. *Radial Growth Resilience of Sessile Oak after Drought Is Affected by Site Water Status, Stand Density, and Social Status*. Trees, octobre. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1479-1>.

Trouve R., Bontemps J.-D., Collet C., Seynave I., et Lebourgeois F., 2019. *When Do Dendrometric Rules Fail? Insights from 20 Years of Experimental Thinnings on Sessile Oak in the GIS Coop Network*. Forest Ecology and Management 433 (février): p. 276-86. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.007>.

Trouve R., Bontemps J.-D., Collet C., Seynave I., et Lebourgeois F., 2015. *Stand Density, Tree Social Status and Water Stress Influence Allocation in Height and Diameter Growth of Quercus Petraea (Liebl.)*. Édité par Annikki Mäkelä. Tree Physiology 35 (10): p. 1035-46. Disponible sur : <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv067>.

<sup>7</sup> Trouve et al. 2016.

<sup>8</sup> Trouve et al. 2015 ; 2019.

<sup>9</sup> Trouve et al. 2019.

# Agir sur la sensibilité à la sécheresse par la sylviculture

par François Courbet, Nicolas Martin-StPaul, Guillaume Simioni, Claude Doussan, INRA Avignon, Jean Ladier, Pôle RDI ONF Avignon et Éric Badel, INRA Université de Clermont Auvergne

*Faut-il réduire la surface foliaire de nos peuplements pour lutter contre les périodes accrues de sécheresse ? Examen de la réponse à l'éclaircie de l'état sanitaire, de la croissance sous dépendance climatique et de variables écophysiologicalues.*

2017	REDSURF
Évaluation des effets d'une réduction de densité des peuplements et des effets d'un changement de répartition de la surface foliaire au sein d'une même parcelle après intervention sur la sensibilité des arbres à la sécheresse.	
François Courbet	INRA

Le changement climatique va entraîner une augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée des périodes de stress hydrique pour une grande partie des forêts. Adapter la sylviculture des peuplements en place en réduisant leur consommation en eau devient donc un objectif de gestion. Dans le cadre du projet Redsurf, nous avons testé l'influence de la réduction de la surface foliaire sur la sensibilité et la vulnérabilité des arbres à la sécheresse en mesurant des indicateurs directs, indirects ou intégrés du fonctionnement des arbres : état sanitaire, croissance et variables écophysiologicalues.

## Deux espèces, deux dispositifs

Ce travail a été réalisé sur deux espèces d'enjeu important :

- le **sapin pectiné**, espèce sensible à la sécheresse et menacée par endroits.
- le **cèdre de l'Atlas**, réputé plus résistant et

souvent mentionné comme espèce de substitution potentielle, notamment en remplacement du sapin pectiné à moyenne altitude, pour constituer des peuplements moins sensibles au changement climatique.

Pour chaque espèce, nous avons utilisé un dispositif expérimental sylvicole en situation exposée d'un point de vue climatique :

► le premier est situé dans une **sapinière adulte** du pays de Sault dans l'Aude (FD de Comefroide-Picaussel) datant de 1957. La pluviométrie moyenne est de 1150 mm/an. Une éclaircie qui a supprimé 50 % de la surface terrière en 2012 a été comparée à une modalité témoin sans intervention.

Y ont été mesurés :

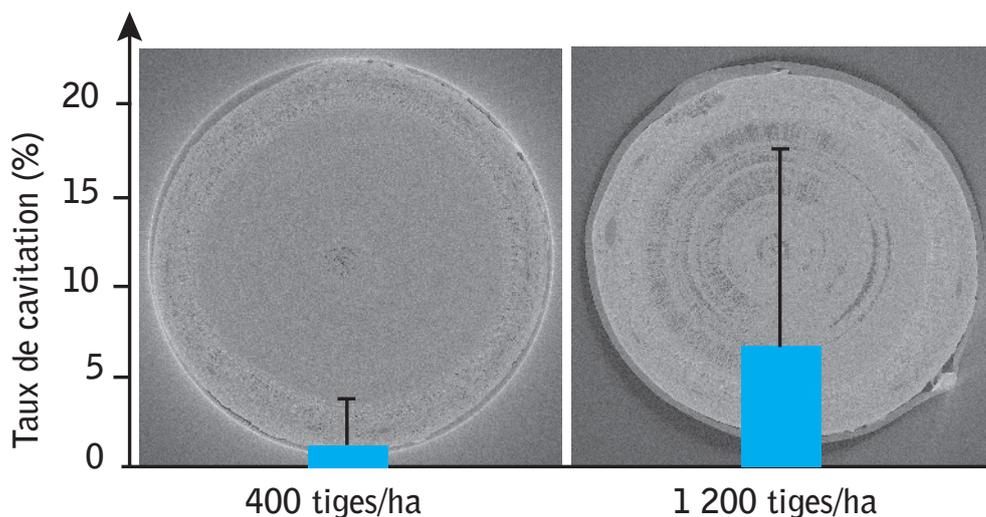
- le déficit foliaire des arbres objectifs,
- l'indice foliaire (LAI\*) des arbres avec l'appareil de mesure « LAI2000 »,
- le LAI\* du sous-bois par des relations phytovolume\* - surface de feuilles,

Figure 1 - Aperçu du traitement de réduction de la surface foliaire le plus intensif



Dispositif de Valliguières (cèdre de l'Atlas) : peuplement éclairci à 400 tiges par hectare en 1992 et élagué à 6 m en 1996 ; en 1996 à gauche, en 2012 à droite.

Figure 2 - Taux de cavitation\* plus faible dans le peuplement éclairci



Cavitation native mesurée par microtomographie aux rayons X (Cochard et al., 2015), sur 5 arbres de la parcelle éclaircie fortement et sur 5 arbres de la placette témoin après la sécheresse de 2017 : moyenne de la proportion de cavitation en bleu, écart-type en noir. Les images illustrent les coupes transversales de jeunes branches prélevées au cours de l'été 2017 observées par microtomographie à rayon X. Les vaisseaux embolisés\* apparaissent en gris foncé. Ils sont devenus incapables d'alimenter le feuillage en eau. Ces taux de cavitation restent toutefois suffisamment limités pour ne pas mettre en jeu la survie de l'arbre.

\* Cf embolie\*

► le second a été installé en 1991 dans une **plantation de cèdres de l'Atlas** du Gard datant de 1967 (Forêt communale de Valliguières) à 250 m d'altitude. La pluviométrie moyenne est de 750 mm/an avec une saison sèche marquée. Une première éclaircie a eu lieu en 1992 conduisant à **4 densités** (1200, 800, 600 et 400 tiges par hectare), chacune étant combinée à 4 hauteurs d'élagage réalisé en 1992 et 1996.

Y ont été mesurés :

- les ressources en eau du sol,
- le LAI\* du peuplement par photographie hémisphérique,
- la résistivité électrique\* du sol (pour évaluer la répartition horizontale et verticale du prélèvement de l'eau par les arbres),
- le potentiel hydrique\* foliaire,
- la présence de cavitation\*,
- l'année d'apparition de nécroses cambiales et la mesure des accroissements annuels en surface terrière après l'abattage de 84 tiges.

Des estimations de bilan hydrique et de risque de cavitation ont été réalisées à partir des modèles Biljou©<sup>1</sup> et SurEau<sup>2</sup>, dans les deux dispositifs sur la base de la description de la végétation, du sol et de scénarios climatiques afin d'estimer les conséquences du changement climatique.

### Des résultats contrastés selon la variable considérée

On constate que l'effet des éclaircies est plus ou moins marqué et durable selon la variable mesurée sans oublier de remarquer que le lien de cause à effet entre le stress hydrique et la variable considérée est lui-même plus ou moins établi (tableau 1).

Dans le dispositif cèdre, les mesures de résistivité électrique du substrat montrent que les cèdres prélèvent de l'eau bien au-delà de la profondeur des fosses pédologiques, jusqu'à 5 m.

<sup>1</sup> Granier et al., 1995, 1999 ; Bréda et Granier 2011.

<sup>2</sup> Martin St-Paul et al., 2017.

Tableau 1 - Effets des éclaircies sur les variables mesurées dans les dispositifs expérimentaux.

Variable mesurée	Espèce	Lien de la variable avec le stress hydrique*	Effet des éclaircies sur la variable
Déficit foliaire*	sapin pectiné	lien avec le stress hydrique* fortement suspecté	Pas d'effet favorable
Écoulements de résine et nécroses cambiales	cèdre de l'Atlas	lien avec le stress hydrique* non établi (stress hydrique non déclenchant, éventuellement prédisposant)	Apparition favorisée par le développement du houppier 8-12 ans après traitement (effet défavorable de l'éclaircie, effet favorable de l'élagage d'autant plus que l'éclaircie est forte). Plus d'effet après 8-12 ans.
Part de la croissance annuelle dépendante du climat	cèdre de l'Atlas	en grande partie lié au stress hydrique*	Effet favorable pendant les 5 ans après l'éclaircie. Plus d'effet ensuite
Potentiel hydrique* de base	cèdre de l'Atlas	directement lié au stress hydrique*	Augmentation du potentiel hydrique (diminution du stress hydrique) encore 25 ans après éclaircie
Proportion de cavitation* dans le bois (figure 2)	cèdre de l'Atlas	directement lié au stress hydrique*	Réduction du taux de cavitation encore 25 ans après éclaircie

<sup>3</sup> Bertin *et al.*, 2016.

<sup>4</sup> Le LAI du sous-bois n'a pas été mesuré pour le cèdre

Dans le même dispositif, les causes de l'apparition de canaux résinifères traumatiques, qui évoluent parfois vers des écoulements de résine associés à des nécroses cambiales, n'ont pas pu être identifiées. L'hypothèse de l'intervention d'un agent pathogène sur des arbres affaiblis par la sécheresse reste à étudier.

Dans les deux dispositifs, l'éclaircie a favorisé le développement du sous-bois.

Le tableau 1 montre que l'éclaircie a des effets positifs sur 2 variables directement liées au stress hydrique.

Les effets positifs des éclaircies sur le statut hydrique des arbres sont aussi confirmés par les simulations **sous climat actuel** avec les modèles Biljou© et SurEau :

► Chez le sapin, l'éclaircie permettrait d'éviter à l'humidité du sol de passer sous 40 % de la réserve utile\*, considéré comme seuil du stress hydrique<sup>3</sup>.

► Chez les deux espèces, l'effet de l'éclaircie est également favorable sur le potentiel hydrique et le risque de cavitation. Dans la sapinière<sup>4</sup> le développement modéré du sous-bois (LAI=0,64 contre 0,29 dans le témoin) ne compense que partiellement la réduction de LAI du peuplement résultant de l'éclaircie.

Les simulations **sous différents scénarios de changement climatique** font état d'une augmentation du risque de cavitation, surtout chez les sapins où le taux de cavitation pourrait dépasser 50% (seuil de mortalité) dans la parcelle témoin pour les scénarios RCP4.5 (réduction des émissions de gaz à effet de serre) et RCP8.5 (prolongation des émissions actuelles). Ce risque serait fortement atténué par l'éclaircie chez les deux espèces.

► Ces modèles sont très sensibles au LAI et à la réserve utile, deux variables qui restent délicates à estimer avec précision *in situ*. ■

\* **Cavitation** : rupture de la colonne d'eau contenue dans les vaisseaux conducteurs d'un arbre suite à une diminution de la disponibilité en eau. Cette rupture conduit à l'embolie\* (développement d'une bulle de gaz, auparavant dissous dans le liquide) et, pour les vaisseaux atteints, à l'arrêt de la circulation de la sève.

\* **Déficit foliaire** : estimation de la perte en feuillage des arbres, notée en pourcentage du feuillage d'un arbre de référence normal, de la même espèce et de la même taille.

\* **Embolie** : voir cavitation\*.

\* **Indice foliaire (LAI)** : surface foliaire du peuplement divisée par la surface du sol occupée par le peuplement

\* **Phytovolume** : volume occupé par la végétation au-dessus du sol (= recouvrement en surface x hauteur moyenne).

\* **Potentiel hydrique** : défini comme l'opposé du travail qu'il faut fournir pour faire passer l'eau de l'état lié à l'état libre. Il est donc d'autant plus faible (plus grand en valeur absolue) que l'eau est fortement retenue dans le système considéré – feuille, branche, sol – et traduit un état de sécheresse plus important. La baisse du potentiel hydrique s'accompagne de l'exercice d'une tension de plus en plus forte sur les colonnes d'eau du végétal qui peuvent rompre brutalement : c'est la cavitation\*.

\* **Réserve utile** : quantité d'eau utilisable par les plantes, contenue dans l'épaisseur de sol accessible aux racines.

\* **Résistivité électrique du sol** : mesure de la capacité du sol et d'une partie du sous-sol à s'opposer à la circulation du courant électrique. Est égale à l'inverse de la conductivité. Elle dépend de plusieurs facteurs et notamment de la teneur en eau du sol, de la charge en cailloux,...

\* **Stress hydrique** : caractérise l'état d'une plante dont les ressources en eau du sol ne peuvent suffire à son fonctionnement optimal.

\* **Potentiel hydrique** : est un indicateur de stress hydrique.

**Remerciements** : Nous remercions le RMT AFORCE pour son soutien.

### Résumé

Le projet REDSURF traite de l'effet des interventions sylvicoles sur l'adaptation des peuplements forestiers au changement climatique. Deux dispositifs expérimentaux, un pour le sapin pectiné et un pour le cèdre de l'Atlas, ont servi à tester l'effet des éclaircies sur la réponse à la sécheresse d'indicateurs sanitaires, dendrométriques, fonctionnels et de simulations de bilan hydrique et de cavitation sous climat actuel et futur.

**Mots-clés** : changement climatique, éclaircie, stress hydrique, cavitation

### Bibliographie

- Bertin S. & Perrier C. (coordination), Bertin S., Balandier P., Becquey J., Bonai D., Bréda N., Perrier C., Riou-Nivert P., Sevrin É. 2016. *Le bilan hydrique des peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion*. RMT AFORCE. 190 p.
- Bréda N., Granier A. 2011. *Outils pour raisonner les calculs de flux d'eau et de bilan hydrique à l'échelle du peuplement*. Forêt-entreprise n° 196. p. 22-24.
- Cochard H., Delzon S., Badel E., 2015. *X-ray microtomography (micro-CT): a reference technology for high-resolution quantification of xylem embolism in trees*. Plant Cell Environment 38: 201-206.
- Granier A., Badeau V., Bréda N. 1995. *Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers*. Revue Forestière Française XLVII: 59-68.
- Granier A., Bréda N., Biron P., Villette S. 1999. *A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands*. Ecological Modelling 116, 269-283. Disponible sur: <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/>
- Martin-StPaul N., Delzon S., Cochard H. 2017. *Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure*. Ecology Letters 20: 1437-1447.

# Un outil de simulation

## Comprendre comment la sylviculture modifie la qualité génétique et les capacités d'adaptation des peuplements

par F. Lefèvre<sup>1</sup>, C. Godineau<sup>1</sup>, N. Beudez<sup>1</sup>, F. de Coligny<sup>1</sup>, F. Courbet<sup>1</sup>, S. Oddou-Muratorio<sup>1</sup>, L. Sanchez<sup>1</sup>, C. Deleuze<sup>2</sup>, C. Pichot<sup>1</sup>, M. Chartier<sup>3</sup>, B. Musch<sup>2</sup>, D. François<sup>2</sup>, S. Girard<sup>3</sup>, J. Guyot<sup>2</sup>, L. Le-Legard Moreau<sup>2</sup>, P. Riou-Nivert<sup>3</sup>, Y. Rousselle<sup>2</sup>, A. Salvaudon<sup>4</sup>, C. Sédilot-Gasmi<sup>5</sup>

*Le changement climatique pose un double défi au forestier : adapter les forêts à de nouvelles conditions et préserver des options sur le long terme pour gérer des futurs incertains. Les sources d'incertitudes sont multiples : scénarios de changement, événements extrêmes, parasites émergents, réponse des écosystèmes complexes au changement, impacts à court et à long termes des pratiques d'adaptation. La diversité génétique est un réservoir d'options pour relever ces multiples défis, il est donc primordial de la valoriser et de la gérer durablement.*

<sup>1</sup> INRA,  
<sup>2</sup> ONF,  
<sup>3</sup> CNPF-IDF,  
<sup>4</sup> PNR Luberon,  
<sup>5</sup> Société Forestière de la Caisse des Dépôts

### La diversité génétique se trouve entre espèces, entre peuplements, et au sein des peuplements

Il est désormais classique de penser à la diversité génétique entre essences pour gérer l'adaptation par le biais de substitution ou de mélanges d'espèces. Il est moins classique de penser à exploiter et gérer durablement la diversité génétique intra-spécifique. Or, cette dernière est aussi importante : il y a beaucoup de différences adaptatives entre une population de Pin sylvestre de Sibérie et une autre de la péninsule Ibérique. De façon moins intuitive, il est désormais clairement établi pour la plupart des essences (il y a toujours des exceptions) que **la diversité génétique au sein des peuplements est très élevée et confère un fort potentiel d'adaptation à de nouvelles conditions**. Sur le terrain, cela s'observe notamment à travers la capacité d'essences introduites à s'adapter à de nouvelles conditions environnementales en une ou quelques générations.

Quelques exemples : le Pin radiata montre une extraordinaire capacité à survivre, croître et se reproduire sous des climats très différents de celui de son aire d'origine Californienne restreinte ; le Chêne rouge introduit en France a vu ses caractéristiques physiologiques se différencier de celles de l'aire d'origine ; des Epicéas d'origine tempérée se sont adaptés aux

conditions boréales dès la première génération. Les travaux récents montrent également l'existence d'adaptations génétiques « micro-locales » à des conditions d'environnement variées au sein même des peuplements.

**Il faut donc cesser de réduire la diversité génétique adaptative à une valeur moyenne par essence**. A chaque niveau « moyen » est associée une diversité : les espèces diffèrent par leurs comportements moyens et chaque espèce est elle-même porteuse d'une très grande diversité entre provenances ; au sein de chaque espèce, les provenances se distinguent par leurs comportements moyens et sont aussi porteuses, chacune, d'une grande diversité génétique entre individus.

### La diversité génétique a une évolution continue dont la sylviculture peut modifier la trajectoire

Cette conception globale de la diversité génétique adaptative a deux conséquences :

- la diversité observée à un instant donné n'est qu'une image figée d'une trajectoire en perpétuelle évolution (comme si on regardait l'une des images de la pellicule d'un film) ; cette vision instantanée de la diversité ne doit pas masquer la notion de trajectoire, dont on comprend bien l'intérêt dans un contexte de changement ;
- la gestion impacte la trajectoire évolutive,

2016	IGS
Évaluation des effets d'une réduction de densité des peuplements et des effets d'un changement de répartition de la surface foliaire au sein d'une même parcelle après intervention sur la sensibilité des arbres à la sécheresse.	
François Courbet	INRA

*Arbre fondateur et générations successives de la forêt des Cèdres du Petit Luberon issue de reboisement dans les années 1860, un bel exemple pour l'étude de l'évolution de la diversité génétique en forêt.*



© INRA

qu'on le veuille ou non : une éclaircie par le haut et une éclaircie par le bas n'ont pas le même effet sur la qualité génétique des arbres restants ni sur leur diversité.

**Avoir conscience des impacts génétiques des pratiques sylvicoles peut non seulement nous aider à mieux interpréter l'état de la diversité actuelle mais aussi et surtout peut nous ouvrir des pistes pour intégrer la dimension des ressources génétiques dans les décisions de gestion<sup>6</sup>.**

<sup>6</sup> Valadon & Musch 2007; Valadon 2009 ; Lefevre, 2012.

<sup>7</sup> Lefevre *et al*, 2014.

Les mécanismes d'impacts génétiques des pratiques sylvicoles sont connus<sup>7</sup>, mais l'évaluation quantitative reste à faire : quelle est la puissance effective du levier sylvicole pour gérer la trajectoire dynamique de la diversité génétique des peuplements ?

### **Une approche de modélisation pour simuler les effets génétiques de la sylviculture**

Pour aborder l'évaluation quantitative des impacts génétiques de la sylviculture, le projet « Évaluation des Impacts Génétiques de pratiques Sylvicoles pour l'adaptation (IGS)<sup>8</sup> » a permis d'initier une approche par simulation sur un cas particulier, le Cèdre de l'Atlas, qui a vocation à être généralisée à différentes essences.

Le modèle utilisé pour ces simulations, développé sur la plateforme logicielle Capsis<sup>9</sup>, est destiné :

- ▀ aux services Recherche et Développement de l'ONF et de l'IDF, pour comparer différentes options sylvicoles ;
- ▀ aux enseignants et formateurs, pour être utilisé à des fins pédagogiques ;
- ▀ aux chercheurs, pour mieux comprendre comment interfèrent les interventions sylvicoles et les perturbations sur la dynamique du peuplement et son potentiel adaptatif.

coles et les perturbations sur la dynamique du peuplement et son potentiel adaptatif.

Dans le modèle, chacun des processus de croissance, reproduction, dispersion du pollen et des graines, mortalité par auto-éclaircie, ainsi que la diversité initiale au sein du peuplement initial ont été validés sur des données expérimentales. Néanmoins, l'intégration de tous ces processus et facteurs de variation dans un même modèle peuvent conduire à des effets d'échelle qui nécessiteraient d'être calibrés : pour une calibration globale du modèle, des données expérimentales de suivi génétique continu au fil des étapes de la sylviculture seront nécessaires. Actuellement, les simulations permettent déjà de faire de façon robuste des comparaisons relatives entre différents scénarios sylvicoles, avec ou sans perturbations, mais ne permettent pas encore une prédiction quantitative absolue.

Le modèle Capsis Luberon<sup>10</sup> s'appuie sur un modèle de dynamique du Cèdre de l'Atlas intégrant les processus de croissance<sup>11</sup>, de reproduction et de dispersion du pollen et des graines, et de mortalité par auto-éclaircie. Ce modèle permet de simuler des arbres individualisés dans un peuplement régulier ou en futaie par bouquets. En amont du modèle intégrant les processus démographiques, un programme informatique permet de simuler des génotypes d'arbres individuels de façon à respecter les valeurs de paramètres génétiques caractérisant le peuplement initial (variance génétique, hérédité, etc.). Le modèle simule la croissance, la mortalité et la reproduction des arbres individuellement et génère les nouveaux semis. Des perturbations aléatoires d'intensité et de fréquence variables peuvent aussi être ajoutées.

<sup>8</sup> Projet coordonné par François Lefèvre, INRA.

<sup>9</sup> Dufour-Kowalski *et al*, 2012. <http://capsis.cirad.fr/capsis/>

<sup>10</sup> [http://capsis.cirad.fr/capsis/help\\_en/luberon2](http://capsis.cirad.fr/capsis/help_en/luberon2)

<sup>11</sup> Courbet *et al*, 2007.

Les premières simulations réalisées permettent déjà de tirer trois enseignements :

- à l'échelle d'une seule révolution, les scénarios sylvicoles peuvent avoir des impacts très différents sur la diversité génétique du peuplement ;
- toutes les étapes d'un itinéraire sylvicole, y compris dans les stades jeunes, contribuent à l'impact génétique final, l'effet des dernières interventions sera conditionné/contraint par les impacts des interventions précédentes ;
- les événements de mortalité accidentelle peuvent modifier les impacts génétiques des itinéraires sylvicoles.

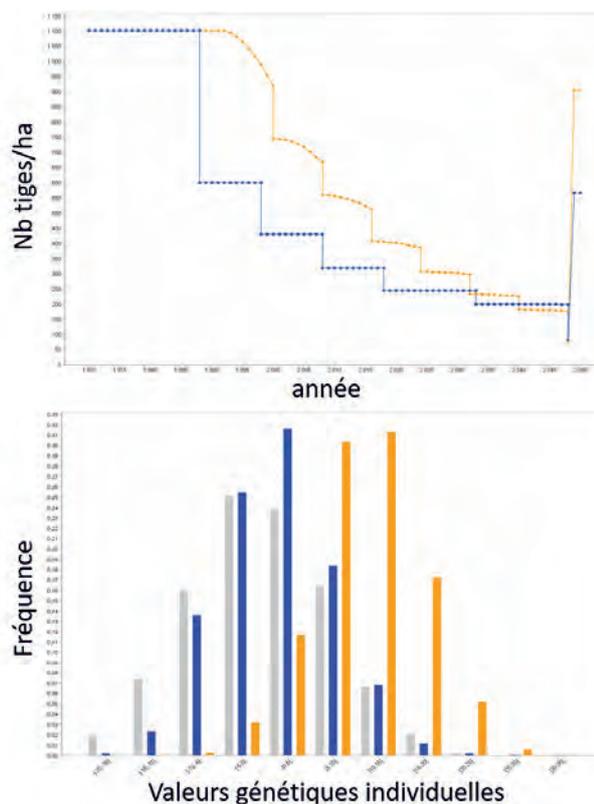
Il semble donc peu pertinent de chercher à définir des effets génétiques associés à chaque type d'intervention car il peut y avoir des effets de renforcement ou de compensation entre interventions successives. Pour prédire des impacts génétiques de la gestion forestière, il faut considérer l'itinéraire sylvicole dans sa globalité ainsi que les aléas.

La Figure 1 illustre les effets simulés de deux scénarios sylvicoles sur l'évolution de la diversité génétique des performances de croissance, au sein d'un peuplement. A chaque éclaircie, le sylviculteur opère une sélection génétique positive en coupant de petits arbres et une sélection négative en coupant de gros arbres. L'évolution génétique entre le peuplement initial et la génération suivante résulte du bilan cumulé des sélections lors des éclaircies successives et du jeu de la reproduction (après la coupe d'ensemencement, tous les arbres restants n'ont pas la même contribution à la régénération).

Cette démarche couplant sylviculture et génétique reste à affiner et à développer sur d'autres modèles de dynamique forestière, pour d'autres essences et d'autres types de peuplements. Mais déjà, lors de sessions pratiques, elle a permis aux utilisateurs de comprendre, visualiser, et commencer à quantifier les différences d'impacts génétiques entre divers scénarios sylvicoles. ■

**Remerciements :** Nous remercions le RMT AFORCE, l'INRA et le Conseil Général du Vaucluse pour leur soutien.

Figure 1 - simulation des impacts génétiques de deux scénarios sylvicoles sur une placette de Cèdre de l'Atlas



Le peuplement initial est âgé de 27 ans en 1970 avec une densité de 1100 tiges/ha. Deux scénarios sylvicoles sont appliqués avant coupe de régénération en 2048. Les deux scénarios diffèrent par les dates d'éclaircies et le choix des individus éliminés (le scénario orange est un rattrapage de peuplement en surdensité). Le graphique du haut montre l'évolution des effectifs et l'arrivée des semis en 2048 (pour les semis, on ne compte que le nombre de tiges qui passera le stade du recrutement). Le graphique du bas compare la diversité génétique pour la vigueur dans les jeunes régénérations de chaque scénario avec celle du peuplement initial (référence, en gris) : les deux scénarios améliorent la qualité génétique moyenne du peuplement mais la différence quantitative entre scénarios est flagrante.

#### Bibliographie

- Courbet F., Courdier J.-M., Mariotte N., Courdier F., 2007. *Croissance, production et conduite des peuplements de cèdre de l'Atlas*. Forêt-entreprise n° 174, p. 40-44.
- Dufour-Kowalski S., Courbaud B., Dreyfus P., Meredieu C., de Coligny F., 2012. *Capsis: an open software framework and community for forest growth modelling*. Annals of Forest Science, 69, p. 221-233.
- Lefevre F., 2012. *Les ressources génétiques, un réservoir pour les services de production et une dynamique pour la gestion des incertitudes*. Revue Forestière Française, LXIV(3), p. 235-242.
- Lefevre F., Boivin T., Bontemps A., Courbet F., Davi H., Durand-Gillmann M., Fady B., Gauzere J., Gidoin C., Karamm J., Lalagüe H., Oddou-Muratorio S., Pichot C., 2014. *Considering evolutionary processes in adaptive forestry*. Annals of Forest Science, 71, P 723-739.
- Valadon A., 2009. *Effets des interventions sylvicoles sur la diversité génétique des arbres forestiers : Analyse bibliographique*. Dossiers forestiers de l'ONF, n° 21, 157 p.
- Valadon A., Musch B., 2007. *Rôle et influence de la gestion forestière sur la diversité génétique*. Rendez-Vous Techniques de l'ONF, 16, p. 34-37.

#### Résumé

La diversité des capacités d'adaptation est non seulement importante entre essences forestières mais aussi au sein de chaque espèce. La diversité génétique intra-spécifique observée à un instant donné est une « prise de vue » dans une évolution continue. Cette diversité est aussi le carburant nécessaire pour l'évolution des espèces. Pour mieux comprendre les impacts des pratiques de gestion sur la diversité génétique et construire des stratégies d'adaptation à long terme, nous intégrons information génétique et perturbations accidentelles dans des outils existants de simulation d'itinéraires sylvicoles.

**Mots-clés :** ressources génétiques, sylviculture, diversité génétique, potentiel adaptatif, simulation.

# Le processus d'innovation technologique en sylviculture

## Exemple des outils mécaniques de préparation du sol avant plantation

par C. Collet<sup>1</sup>, M. Blondet<sup>2</sup>, C. Richter<sup>3</sup>, C. Deleuze<sup>4</sup>, F. de Morogues<sup>6</sup>, A. Bouvet<sup>5</sup> et J. Thomas<sup>7</sup>

<sup>1</sup> INRA Pôle Renfor, UMR Silva.

<sup>2</sup> AgroParisTech, UMR Silva.

<sup>3</sup> ONF Département RD&I.

<sup>4</sup> ONF Direction territoriale Bourgogne Franche Comté.

<sup>5</sup> Département Santé des Forêts DRAAF Centre Val de Loire.

<sup>6</sup> FCBA Direction Innovation Recherche.

<sup>7</sup> CNPF-IDF.

*Un changement de pratiques sylvicoles s'impose pour assurer le renouvellement des forêts face aux changements globaux présents et à venir. C'est d'autant plus vrai avec la plantation qui doit subir des printemps au climat très contrasté. Assurer le transfert aux praticiens et propriétaires est essentiel pour garantir leur réussite.*

La sylviculture, comme toute pratique, fait l'objet d'innovations régulières. Ces innovations sont centrales pour adapter la gestion forestière aux évolutions attendues. Le soutien à l'innovation est considéré comme une priorité par les politiques forestières.

### Enjeux et objectifs du projet

Un processus d'innovation et ses moteurs sont spécifiques au secteur économique et aux activités considérées. En Europe, les études sur le processus d'innovation dans le secteur forêt-bois sont récentes et très peu d'entre elles portent sur les pratiques sylvicoles. Il est donc difficile de proposer des mesures efficaces pour promouvoir l'innovation en sylviculture. Le projet PINNS souhaite combler en partie ce manque en se concentrant sur la pratique innovante d'utilisation d'outils de préparation mécanisée du site (PMS) avant plantation. Il souhaite analyser les conditions d'appropriation de ces outils par les praticiens.

### Attentes des acteurs

Il a été établi un panorama exhaustif des attentes des acteurs vis-à-vis de la plantation, en recueillant les avis d'un panel de 62 personnes (praticiens forestiers, acteurs de la R & D, représentants de la filière bois, associations, pouvoirs publics).

Les attentes, exprimées à travers 53 critères, se répartissent de façon assez équilibrée entre les trois dimensions du développement durable. **Les premiers critères cités sont la réussite et le coût des interventions, le gain en valeur patrimoniale de la forêt, la conservation de la biodiversité et la contribution au développement économique.** Les critères liés à la pénibilité du travail, l'acceptabilité sociale des pratiques, leurs impacts sur la durabilité des sols et la pollution du milieu viennent en second lieu.

2017	PINNS
Le processus d'innovation technologique en sylviculture (adoption et utilisation) : exemple des outils mécaniques de préparation du sol avant plantation.	
Catherine Collet	INRA



Plantation de deux ans de pins laricio de Corse.

Jérôme Rosa © CNPF



Ouverture de potets à la mini-pelle.

## Adoption de l'innovation

Les freins et leviers à l'adoption des outils de PMS par les praticiens (propriétaires, gestionnaires, opérateurs) ont été identifiés par l'intermédiaire d'un questionnaire diffusé par voie électronique (413 réponses reçues).

Un quart des répondants ne connaît aucun outil innovant et plus de la moitié n'en utilise aucun. **La première raison évoquée pour utiliser un outil reste ses performances techniques**, bien avant celles environnementales et ergonomiques (respectivement 69 %, 29 % et 17 % des répondants). La disponibilité locale des outils et des opérateurs qualifiés, le niveau d'investissement financier sont également des facteurs essentiels à leur adoption. Ces résultats suggèrent que des actions de mise en réseaux des acteurs pourraient constituer une solution pour favoriser l'adoption. Par ailleurs, **les actions permettant d'améliorer la diffusion des connaissances semblent plébiscitées par l'ensemble des acteurs.**

## Actions de dissémination

Un bilan des actions de transfert de la PMS auprès des praticiens a été établi grâce à une enquête par voie électronique (300 réponses reçues). La perception de l'innovation par les répondants est très centrée sur l'aspect technique (changement des pratiques) et ne révèle pas de défiance particulière vis-à-vis de l'innovation. Les principaux vecteurs d'information permettant d'améliorer la diffusion de la PMS sont les canaux relationnels (relations avec les collègues d'un même organisme ou d'autres organismes), les démonstrations sur le terrain et la presse spécialisée.

Les actions de communication permettent de faire changer les représentations et de faire évoluer les pratiques de gestion. Globalement, ces actions sont très appréciées et

jugées efficaces. Les savoirs acquis lors de ces formations sont très largement transmis à l'entourage.

## Conclusions et perspectives

Les acteurs forestiers expriment de fortes attentes pour une évolution des pratiques de plantation, mais un faible niveau de connaissance des outils innovants et de leur utilisation est observé.

Cependant, aucune défiance particulière par rapport à l'innovation n'a été observée, et les actions de formation menées par les organismes de R & D, bien qu'insuffisantes, sont jugées efficaces. Poursuivre les actions et élargir l'effort de formation actuel pour essayer de toucher de nouvelles personnes semble donc important et attendu.

L'absence de mise en réseau des acteurs est apparue comme un frein fort à l'adoption des outils mais les leviers proposés pour y remédier n'ont pas convaincu. Ceci suggère que des innovations sont également nécessaires dans l'organisation des interactions entre acteurs, passant par l'invention de nouvelles formes de collaboration. ■

### Résumé

Les innovations sont indispensables pour adapter la gestion forestière aux évolutions attendues. Le projet analyse les conditions d'appropriation de la pratique innovante d'utilisation d'outils de préparation mécanisée du site. Les acteurs forestiers expriment de fortes attentes pour une évolution des pratiques de plantation mais ont un faible niveau de connaissance des outils innovants. Aucune défiance par rapport à l'innovation n'a été constatée, les actions de dissémination sont à poursuivre.

**Mots-clés :** innovation, préparation mécanisée du site, plantation

### Remerciements

Nous remercions le RMT AFORCE, l'ADEME (soutien au projet Capsol), et le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (convention E09/2017) pour leur soutien. Nous remercions également chaleureusement les personnes qui ont contribué, diffusé et répondu aux différentes enquêtes.

# Au-delà d'Aforce, d'autres initiatives

Par Olivier PICARD, CNPF

Aforce n'est pas seul face à la vaste question de l'adaptation des forêts au changement climatique. De nombreux autres projets et initiatives régionales et européennes existent et c'est également le rôle du réseau de les faire connaître. À l'occasion du colloque de restitution des projets du réseau Aforce des programmes « cousins » ont été invités afin d'enrichir la palette des initiatives et des expériences.

## LIFE FORECCAsT : Adapter les forêts du Haut-Languedoc aux changements climatiques

Situé à la confluence de trois climats (méditerranéen, atlantique, montagnard), le Parc naturel régional du Haut-Languedoc (Pnr HL) est particulièrement sensible aux changements climatiques.



Raphaël BEC © CNPF

Plus d'informations :  
<http://www.foreccast.eu/fr/homepage/accueil.html>  
Contact : [coord-foreccast@parc-haut-languedoc.fr](mailto:coord-foreccast@parc-haut-languedoc.fr)

Projet financé par l'Union Européenne dans le cadre du programme Life, par la Région Occitanie, les départements de l'Hérault et du Tarn, Le parc naturel régional du Haut-Languedoc, le Centre National de la Propriété Forestière et Alliance Forêt-Bois.

100 fosses profondes ont été creusées et analysées pour mieux estimer la réserve utile en eau des sols du Haut-Languedoc

Face aux risques liés à ces changements, le Pnr HL associé au Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) et à la coopérative forestière Alliance Forêts Bois mettent en place des actions visant l'adaptation des forêts. Le projet LIFE FORECCAsT en cours fournira *in fine* aux propriétaires, gestionnaires forestiers et élus locaux des outils pour adapter leur sylviculture face aux changements climatiques et sensibilisera les professionnels et le grand public à ces sujets.

Pour se faire, un réseau de vingt-quatre sites expérimentaux permettant de tester de nouveaux modes de gestion sylvicoles et le potentiel de nouvelles essences a été installé.

Une **application mobile** appelée « FORECCAsT by BioClimSol » a également été développée. A partir de données de terrain saisies par l'utilisateur, de données climatiques et topographiques géoréférencées et d'algorithmes mathématiques basés sur la méthode BioClimSol (développée par le CNPF), elle permet de réaliser un diagnostic de vigilance climatique sur toute la France en fonction du contexte actuel et du climat futur, pour des peuplements forestiers déjà en place ou des projets de reboisement. Ce diagnostic est lié à des pistes de gestion sylvicole adaptées aux changements climatiques. Un travail particulier a été mené par l'INRA et le Pnr sur les sols et a été intégré à l'application sur ce territoire.

En parallèle de ces outils, FORECCAsT met en place de **nombreuses actions de sensibilisation et d'information** à destination des professionnels, des élus et du grand public. ■

## L'avenir du Douglas en Bourgogne

Contact : [marie-cecile.deconninck@cnpf.fr](mailto:marie-cecile.deconninck@cnpf.fr)

Projet financé par la région Bourgogne-Franche-Comté

Le Douglas occupe plus de 8 % de la surface boisée en Bourgogne soit environ 68 000 ha. Le changement climatique affecte sa croissance et provoque des dépérissements.

Ce projet souhaite développer trois actions :

- 1 - Constituer un réseau régional de références et d'essais sur le douglas.
- 2 - Évaluer les risques liés au déficit hydrique et thermique, l'effet de la fertilité des sols et de la sylviculture sur la capacité du douglas à faire face aux changements climatiques et l'impact de la sylviculture sur le bilan carbone,
- 3 - Adapter et renouveler les peuplements pour favoriser leur résilience en expérimentant de nouvelles techniques, le mélange d'essences, de nouvelles provenances, voire des essences de substitution. ■

## FORESPIR et CANOPEE : Changement Climatique et Adaptation des Forêts des Pyrénées

La forêt occupe plus de la moitié de la surface des Pyrénées et fournit, tant au niveau local qu'au niveau régional, de nombreux biens et services. Dans un contexte de changements climatiques, FORESPIR<sup>1</sup> avec ses membres<sup>2</sup> mettent en œuvre depuis 2016 le projet CANOPEE dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique<sup>3</sup>. Cette coopération transfrontalière (France/Espagne/Andorre) vise à :

➔ **Renforcer le suivi d'indicateurs d'impact du changement climatique** sur les principales essences des Pyrénées.

➔ **Développer un outil pour caractériser la vitalité des arbres** du massif et leur vulnérabilité au dépérissement : quatre nouvelles clés ARCHI<sup>4</sup> (*Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata*, *Pinus nigra*) et une application smartphone-tablette ont ainsi été réalisées, accompagnées de plusieurs formations de forestiers des Pyrénées,

➔ **Cartographier les zones de vigilance** (actuelle et future) des principales espèces forestières des Pyrénées selon les différents

scénarios de changements climatiques : des cartes de vigilance climatique actuelle ont été réalisées. Chaque carte propose une surveillance plus attentive là où l'espèce est en climat plus chaud ou plus sec que dans l'ensemble de son aire pyrénéenne. Des cartes de vigilances futures seront également produites sur la base des données générées dans le cadre du projet CLIMPY<sup>5</sup>,

➔ **Élaborer et mettre en œuvre des actions de gestion adaptative** pour minimiser les impacts attendus : un manuel de bonnes pratiques forestières pour réduire la vulnérabilité des forêts du massif pyrénéen au changement climatique sera réalisé. ■

<sup>2</sup> Le Centre National de la Propriété Forestière, l'Office National des Forêts, la Fondation HAZI Fundazioa, le Centre des Sciences et des Technologies Forestières de Catalogne, le Centre de la Propriété Forestière de Catalogne, l'Institut Pyrénéen d'Ecologie, le Gouvernement d'Aragon, l'entreprise publique de Gestion Environnementale de Navarre et l'Institut d'Etudes Andorran.

<sup>3</sup> <https://www.opcc-ctp.org/fr>

<sup>4</sup> Méthode qui vise à diagnostiquer les dynamiques de résilience des arbres en basant son analyse du dépérissement sur l'intégration de la notion de réversibilité d'un état de stress. Dans Forêt Entreprise : Drenou C., Caraglio Y. *Parlez-vous Archi?* Les principales définitions de la méthode Archi. Forêt Entreprise n° 246 in Dossier « Dépérissements, décrire pour mieux agir ». p. 28-29.

<sup>5</sup> Caractérisation de l'évolution du climat et apport d'informations pour l'adaptation des Pyrénées

Plus d'information : <https://opcc-ctp.org/fr/climpy>

Plus d'informations : <https://opcc-ctp.org/fr/canopee>.  
Contact : [sebastien.chauvin@forespir.com](mailto:sebastien.chauvin@forespir.com) – [raphael.delpi@forespir.com](mailto:raphael.delpi@forespir.com)

Projet financé par l'Union Européenne, l'Etat français et la Région Occitanie

<sup>1</sup> Groupement (GEIE) franco-espagnol-andorran qui a pour objectif de contribuer au maintien et au développement des fonctions économiques, écologiques et sociales des forêts Pyrénéennes.

## Sylviculture de précision en Nouvelle-Aquitaine du châtaignier et du pin maritime

Ce projet, débuté en 2019, vise à **développer une démarche participative** pour la définition de sylviculture de précision sur le pin maritime et sur le châtaignier.

➔ Pour le pin maritime, il est prévu la création et le développement d'une application smartphone d'aide à la décision pour le déclenchement des éclaircies des peuplements de pin maritime selon des normes de sylviculture précises.

➔ Pour le châtaignier, il est nécessaire de dynamiser sa sylviculture et d'attirer des projets carbone capables de contribuer au financement de la rénovation de la châtaigneraie durement touchée par différentes maladies (chancre, Encre...). Il est ainsi prévu de développer et de mettre à disposition des méthodes et outils de suivi de la réponse des taillis de châtaignier face aux aléas biotiques et abiotiques par des diagnostics de terrain avec ARCHI et BIOCLIMSOL. Il est aussi question d'évaluer les impacts de ces aléas sur la croissance et le stockage de carbone. ■

Contact : [michel.chartier@cnpf.fr](mailto:michel.chartier@cnpf.fr)

Projet financé par PEI et région Nouvelle Aquitaine

Ces projets montrent une grande cohérence avec ceux que mènent le réseau, mais aussi entre eux. Ils mettent en pratique des solutions d'adaptations que les différents projets du réseau proposent et montrent aussi une complémentarité avec le réseau Aforce, dans la mesure où ils sont ancrés dans leurs territoires et leurs régions et que de nombreux acteurs du réseau y participent.

### Résumé

Le réseau Aforce accompagne les forestiers dans la préparation des forêts au changement climatique. De nombreuses autres initiatives existent dans cet objectif, elles sont en cohérences avec les actions du réseau. Les projets LIFE FORECCAsT, FORESPIR, CANOPEE, Sylviculture de précision en Nouvelle-Aquitaine du châtaignier et du pin maritime et Avenir du Douglas en Bourgogne ont été invités à présenter leurs résultats lors du colloque de restitution du réseau en 2019.

**Mots-clés :** Adaptation, changement climatique



# AFORCE, l'expertise collective au service des acteurs régionaux

Par Olivier PICARD, CNPF



Le réseau arrive en 2019 au terme d'une nouvelle période d'activité qui a été rythmée par trois appels à projets. L'ensemble des résultats sont présentés dans ce dossier de Forêt-entreprise n° 249.

Fort de 10 ans d'expériences de collaboration pour mener à bien ses projets, ses expertises collectives, et ses animations d'ateliers thématiques nationaux ou internationaux, le réseau est fortement interrogé sur les solutions à apporter aux praticiens. Compte tenu de la diversité des situations, **le réseau ne proposera jamais de recette toute faite, mais une démarche d'adaptation avec un raisonnement fondé sur quelques principes :**

- ▀ **Surveiller et diagnostiquer** pour mieux prévenir et discerner l'urgence à agir pour gérer une crise à court terme ou pour mettre en place des actions d'adaptation à moyen terme ;

- ▀ **Ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier**, en diversifiant les espèces et les sylvicultures, est à privilégier en fonction du diagnostic et de l'urgence qui en découle ;

- ▀ **Mieux connaître les potentialités des sols et les préserver** pour limiter les impacts dus au tassement par les engins et à l'exportation de la matière minérale ;

- ▀ **Développer une culture du risque et savoir l'évaluer.** Les aléas climatiques, combinés aux aléas sanitaires, exposent les forêts à des risques qui seront de plus en plus fréquents qui se cumuleront, avec des extrêmes plus intenses ;

- ▀ **Expérimenter de nouvelles sylvicultures, essences et provenances** est essentiel pour rechercher et commencer à tester des solutions. Réussite ou échec, il est crucial de pouvoir en tirer des enseignements. Les incertitudes sur l'avenir nécessitent de diversifier les solutions et d'accepter de se tromper. Les données et observations collectées sont ainsi autant d'informations pour faire progresser les connaissances et pour affiner les solutions à diffuser. Le suivi de ces expérimentations est donc indispensable.

Une fois ces principes établis, il reste à **accompagner les acteurs pour utiliser les outils d'aide à la décision disponibles.** Le projet du RMT AFORCE pour la période 2020-2025 sera sous tendu par deux grands objectifs :

- ▀ **Favoriser l'appropriation des outils** par les acteurs de terrain afin d'expérimenter et de rechercher avec eux des solutions d'adaptation ;

- ▀ **Développer en région des exercices de mise en situation à partir de cas concrets**, afin que les acteurs de la filière identifient les vulnérabilités de leur territoire et imaginent ensemble les pistes d'adaptation envisageables.

Ce travail collaboratif ne sera possible que grâce aux partenaires du réseau, leurs représentants en région et leurs savoir-faire en matière de développement, vulgarisation et formation.

Au vu des évolutions déjà constatées du climat, il est urgent que l'adaptation devienne un état d'esprit. Mais rien n'est définitivement gagné : les résultats du projet MACCLIF (p. 20) montrent que les forestiers sont conscients de la réalité du changement climatique, de son origine humaine, mais ne savent pas encore quoi faire face à ces dérèglements.

Le réseau a donc encore de nombreux défis à relever et chantiers à mener pour accompagner l'action, faire connaître les outils, valoriser les initiatives, assurer la formation aux nouvelles pratiques. Cela se fera dans les régions, les territoires, pour une meilleure prise en compte des spécificités locales (filiales, organisation, socio-écosystèmes, etc.).

Enfin, pour appuyer ce travail, le réseau mettra en place de nouvelles collaborations avec d'autres communautés pour démultiplier son action, mieux ancrer son travail dans le paysage et s'assurer d'une meilleure prise en compte des enjeux multiples entourant chacune des décisions d'adaptation (biodiversité, atténuation, etc.). ■

# Anomalies de croissance du cèdre en Ardèche

Par Sabine Girard, Jean Lemaire, CNPF-IDF et Thierry Améglio, Inra

*Dans une région où le cèdre de l'Atlas est installé depuis longtemps, des dessèchements de cimes voire des mortalités sont observés. Une étude a été réalisée de 2013 à 2018 dans le département pour en cerner les causes. Coordonnée par l'IDF, elle a permis de préciser l'autécologie de l'espèce.*

Dans un contexte de changement climatique avéré, le cèdre est une essence sur laquelle se porte de nombreux espoirs, en Ardèche comme sur le territoire français dans son ensemble. Réputé résistant à la chaleur et la sécheresse, il est aujourd'hui souvent préconisé sur des stations forestières sèches de basse altitude ou pour remplacer des peuplements d'épicéas, de sapins ou de douglas dépérissants suite aux sécheresses successives des années 2000. En plus de son adaptation à des conditions de vie plus sèches, le cèdre est apprécié du point de vue paysager et peut avoir une productivité intéressante. Son bois est durable et peut être valorisé pour de nombreux usages. Déjà largement présent dans le quart sud-est de la France depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, son implantation pourrait concerner à l'avenir une part plus importante du territoire français.

Dans le nord de l'Ardèche, l'espèce est présente depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et elle a été assez largement utilisée en reboisement depuis les années 80. Alors que son adaptation aux conditions locales semblait acquise, l'apparition d'anomalies de croissance repérées en 2010 inquiète fortement les forestiers locaux.

## Des dessèchements complets ou partiels de la cime des arbres

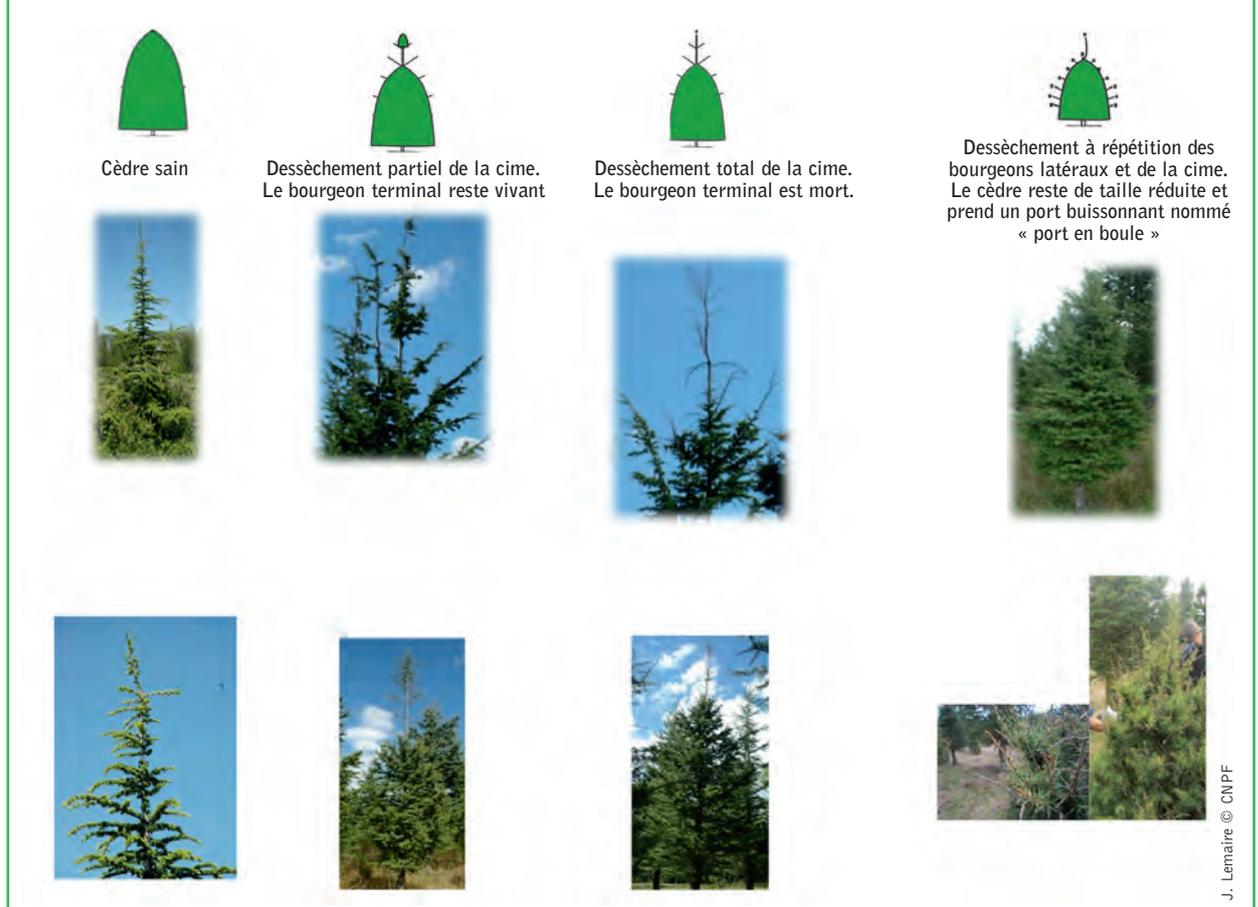
Outre la mortalité de certains individus, des dessèchements de cime sur plusieurs dizaines de centimètres (*photo 1*) et des portions de tronc entièrement dépourvues d'aiguilles et de ramifications (*photo 2*) étaient signalés. Des ports buissonnants étaient également repérés mais en plus faible proportion.



*Photo 1 : Dessèchements de cime sur plusieurs dizaines de centimètre ;*

*Photo 2 : Port « en caniche » : une portion du tronc est entièrement dépourvue d'aiguilles et de ramifications.*

Figure 1 - Les différentes anomalies de croissance observées



### Des anomalies dans de nombreux peuplements mais sur peu de tiges...

Dans un premier temps, les dégâts ont été localisés et quantifiés à l'échelle du département en échantillonnant selon la géologie et le climat. Ainsi, 81 peuplements ont fait l'objet de mesures soit entre 10 et 20 % des plantations de plus de 5 m de hauteur recensées.

Il ressort que :

- ▀ Le phénomène est présent sur **l'ensemble du département même s'il l'est davantage dans la moitié nord** ;
- ▀ **60 % des peuplements étudiés ont des dessèchements de cimes.**
- ▀ **Les 2/3 des peuplements touchés ont moins de 15 % de tiges atteintes** et seulement **8 % présentent des dégâts sur plus des 3/4 des arbres** ;
- ▀ Les 2/3 des parcelles dont l'âge a pu être renseigné ont entre 20 et 40 ans et ont une hauteur dominante comprise entre **10 et 20 m**. La surface terrière moyenne des placettes est élevée (34 m<sup>2</sup>/ha) démontrant un retard d'éclaircie.
- ▀ Le diamètre des arbres sains et des arbres présentant des anomalies de croissance n'est pas différent.

### ...sans lien avec la nature du substrat et un déficit hydrique estival.

Aucune corrélation significative n'est mise en évidence entre le dessèchement des cèdres et la nature du substrat géologique : le phénomène est présent aussi bien sur roches acides (grès, granite, schiste) que sur roches basiques (basalte et calcaire).

Alors qu'une carence en bore avait été incriminée pour expliquer le port en boule de cèdres plantés en Haute Loire et Corrèze (Legrand 2003), les analyses minérales réalisées au niveau foliaire et du sol ont permis d'éliminer l'hypothèse qu'une telle carence soit à l'origine des anomalies de croissance observées.

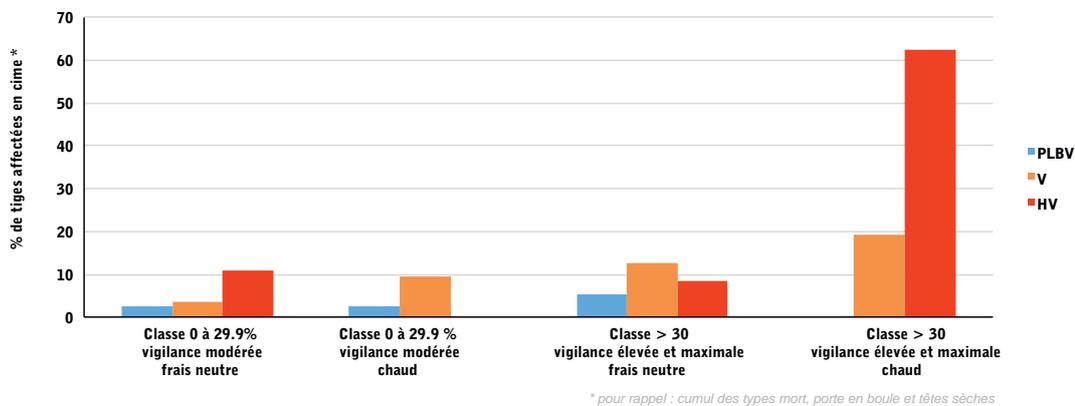
De la même façon, aucune corrélation significative n'est trouvée entre le bilan hydrique – en particulier estival – et la présence de dessèchements. D'ailleurs les forestiers observent des dégâts sur les cèdres à proximité de parcelles d'épicéas ou de douglas qui ne présentent aucun signe de faiblesse, alors que ces essences sont a priori plus sensibles au déficit hydrique.

En revanche, dans les parcelles situées en haut de versant – généralement plus exposées aux vents –, le nombre de tiges affectées est plus élevé celles situées sur des versants ou des plateaux (21 % contre 12 %).

## Figure 2 - Taux de dégâts observés en 2014 dans 82 parcelles ardéchoises selon la zone de vigilance climatique à laquelle elles appartiennent.

Leur exposition (« frais/neutre » ou « chaud ») et leur position topographique (« PLBV » = Plateau et bas de versant, « V » = versant, « HV » = Haut de versant).

Évolution du pourcentage de tiges affectées par une anomalie de croissance en fonction du risque de gel en mars, de l'exposition exprimé par l'IKR et de la position topographique chez le cèdre de l'Atlas en Ardèche



### Une sensibilité au froid en fin d'hiver?

Au niveau climatique, la seule variable corrélée à la présence et à l'intensité des anomalies de croissance est la moyenne des températures minimales de mars entre 1981 et 2010. Ce lien statistique nous a conduits à nous interroger sur le phénomène d'acclimatation des arbres au froid<sup>1</sup>.

L'équipe de Th. Améglio à l'INRA de Clermont Ferrand a donc mené une série de travaux pour tester cette hypothèse en suivant l'évolution du niveau d'endurcissement<sup>1</sup> au froid de certains arbres de décembre 2016 à juin 2018 dans deux parcelles ardéchoises.

### Un seuil critique de - 15 °C au printemps

En plein cœur de l'hiver, les arbres étaient capables de supporter des températures allant jusqu'à - 28 °C. En revanche, à l'automne et au printemps, des dégâts irréversibles surviennent dans les aiguilles lorsque la température atteint - 15 °C. Or de telles températures ne sont pas rares en Ardèche. Des températures inférieures à - 12 °C ont été enregistrées sous abri en mars 1964, 70, 71, 73, 2005, 06,10 et 18.

### Deux années incriminées : 2005 et 2010... 2018 pour confirmer

Grâce à l'abattage d'un certain nombre d'arbres, les anomalies de croissance ont pu être datées. Ainsi, la pousse dépourvue de ramifications et d'aiguilles (= le « cou » du caniche) correspond à celle mise en place en 2010. Signalons qu'en mars 2010, - 17 °C a



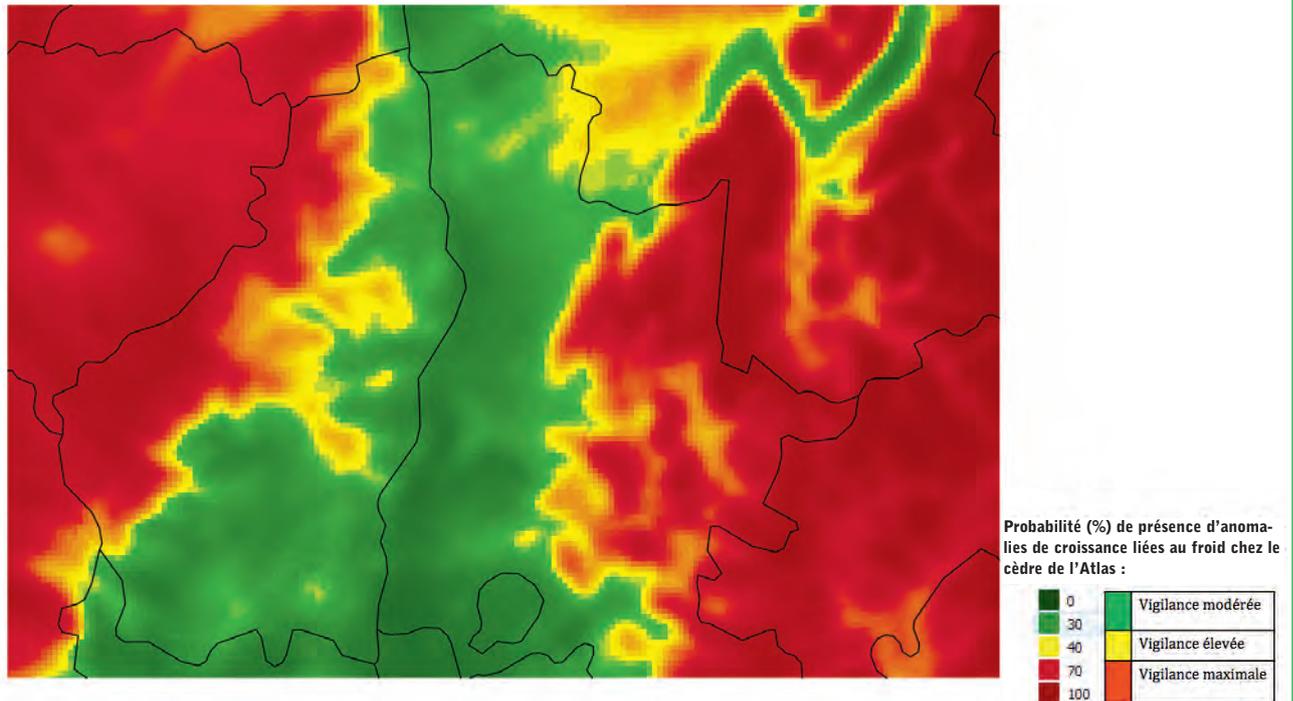
été enregistré sous abri dans la zone la plus exposée du département.

Tous les arbres abattus avec des dégâts en cime présentaient des défauts au niveau du tronc de type décollement, méplat et cernes noirs (*photo ci-dessus*). Les méplats correspondent à une zone où le cambium est détruit. En comptant les cernes mis en place à côté de cette zone, nous avons daté cette destruction à l'année 2005. Or, en mars 2005, - 19 °C a été enregistré sous abri dans les territoires les plus exposés.

Des conditions de ce type sont survenues lors de l'étude, en mars 2018 et nous ont permis de suivre « en direct » l'apparition de dégâts au niveau foliaires (décoloration puis chute des aiguilles) et d'observer de brutales mortalités sur différents sites de suivi. L'ensemble de ces éléments converge vers une sensibilité du cèdre de l'Atlas à de fortes gelées survenant en fin d'hiver. Cette sensibilité a déjà été rapportée lors de phases de gel très marquées notamment en 1956 et 85 (Courbet, 2012, Toth, 2005).

<sup>1</sup> L'endurcissement au froid ou acclimatation est un ensemble de mécanismes physiologiques qui augmentent la tolérance des cellules et des tissus de l'arbre au froid (cf. Améglio et Bettayed, 2015).

Figure 3 - Carte de vigilance climatique pour le cèdre de l'Atlas en Ardèche



### Une répartition hétérogène des dégâts dans les parcelles.

Une analyse spatiale de l'intensité et du type d'anomalies de croissance a été réalisée sur deux parcelles. Il ressort que, plus un arbre est exposé **au sud et sur une pente**, plus la probabilité qu'il soit affecté par une anomalie de croissance est élevée. Par ailleurs, plus l'arbre est éloigné de la **bordure de la parcelle**, plus la probabilité qu'il soit touché est faible. Ces deux faits convergent vers un phénomène qui implique une exposition au soleil combinée à de fortes amplitudes thermiques (gel/dégel).

### Éclatement de l'écorce lors de fortes amplitudes thermiques

Le fait que, dans les zones les plus froides du département, les expositions chaudes soient nettement plus affectées que les autres est assez contre-intuitif : les expositions les plus froides devraient être plus touchées si l'explication du phénomène ne concernait que le gel... Les dégâts observés seraient plutôt liés à une préparation plus précoce de la croissance printanière sur les sites « chauds » associée à une température très froide - en général en fin de nuit - suivie d'un rapide réchauffement en journée pour les arbres en exposition chaude. Au plan physiologique, le dé-endurcissement plus précoce des cellules dans les zones plus chaudes, fragiliserait en fin d'hiver les tissus lors de la prise en glace et de leur dégel rapide, provoquant la destruction des cellules

concernées. Le phénomène est plus graduel et moins impactant dans les zones fraîches où les contrastes thermiques sont moins importants et où les cellules restent endurcies au gel à cette période. Très connu chez de nombreuses espèces feuillues (chêne, hêtre, châtaignier, noyer, bouleau verruqueux...), il est également documenté chez l'épicéa et le sapin notamment, chez lesquels, outre les fissures d'écorce, il peut s'accompagner d'exsudations aqueuses ou résineuses (Miller, 1993...). Nos résultats suggèrent que, les années avec des épisodes froids et soudains en fin d'hiver, les cèdres exposés au soleil sont victimes de ce phénomène.

### Carte de vigilance

À partir des différents résultats obtenus lors de ces études, trois zones de vigilance climatique ont été délimitées sur le département de l'Ardèche (figure 3) selon la méthode développée pour construire l'outil « Bioclimsol » (Lemaire, 2017).

Les peuplements en zone de vigilance modérée sont peu affectés par des anomalies de croissance quelles que soient leur exposition et leur position topographique (figure 3). En revanche, en zones de vigilance climatique élevée et maximale, les peuplements situés en haut de versant et en exposition chaude sont très affectés avec plus de 60 % des tiges touchées.

#### Bibliographie

- Ameglio, Th et Bettayed K., 2015. *Mais que font donc les arbres en hiver ?* Science&Vie Questions-Réponses, 3 p. <https://prodinra.inra.fr/record/342328>
- Courbet F. et coll., 2012. *Le cèdre en France face au changement climatique : Bilan et recommandations*, RMT AFORCE Eds, 30 p.
- Legrand Ph., 2003. *Carence en bore de jeunes plantations de Cèdre de l'Atlas dans le Massif central*. Revue forestière française, vol. LV, n° 2, pp. 123-128.
- Lemaire J., 2017. *BioClimSol : un outil de vigilance climatique appliqué au douglas*. Forêt-Entreprise n° 234, pp. 28-32.
- Miller P.R., 1993. *Abiotic Diseases in Diseases of Pacific coast Conifers* Coord. Scharpf R.F., USDA Forest Service eds, Handbook 521, 1-32
- Toth J., 2005. *Le cèdre de France : Étude approfondie de l'espèce*. Eds l'Harmattan, 207 p.

## Conséquences pour la gestion

Au regard de l'ensemble des résultats, les préconisations suivantes peuvent être avancées pour l'utilisation du cèdre de l'Atlas en Ardèche :

► En zone de vigilance climatique modérée, qui correspond en Ardèche à une altitude inférieure à 500 m, la station est climatiquement favorable au cèdre de l'Atlas.

► En zone de vigilance climatique élevée (de 500 à 700 m), il ne fait pas planter le cèdre sur les versants et les hauts de versants exposés du Sud à l'Ouest ; privilégier les versants nord. En situation de plateau ; éviter de planter des cèdres en bordure de parcelle ou les planter en mélange. Des modalités de dépressage différentes ont été expérimentées dans le cadre du projet sur un site... Rendez-vous dans quelques années.

► En zone de vigilance maximale, à plus de 700 m, nous déconseillons de planter du cèdre de l'Atlas.

## Conclusion

Soulevés au départ par les acteurs ardéchois du monde forestier, des phénomènes similaires de décollement d'écorce et d'anomalies de croissance en cime ont été signalés dans d'autres régions soumises à de fortes

amplitudes thermiques printanières (Massif central, Nord Est). Le travail réalisé a apporté des précisions quant à l'autécologie de cette espèce, souvent plébiscitée dans le contexte de changement climatique pour sa résistance à la sécheresse. Il convient néanmoins d'intégrer sa sensibilité au gel dans la réflexion sur son développement sur le territoire français. ■

## LE SAVIEZ-VOUS

De nombreuses plantations ardéchoises de cèdres de l'Atlas présentent des anomalies de croissance plus ou moins intenses (dessèchement de cimes, port en boule, décollement d'écorce voire plus rarement mortalité). La nature du substrat géologique, la sécheresse ou une carence en bore ne sont pas en cause. Les travaux réalisés désignent plutôt des dégâts de gel intervenant en fin d'hiver dans les expositions les plus chaudes en raison d'amplitudes thermiques fortes. Ce fut par exemple le cas en 2005 et 2010, années correspondant à l'apparition des dégâts observés.

Mots-clés : Cèdre de l'Atlas, Ardèche, anomalies de croissance.

## En savoir<sup>+</sup>

Le rapport complet est téléchargeable à l'adresse suivante : [https://www.researchgate.net/publication/331591354\\_Comprendre\\_et\\_agir\\_contre\\_le\\_deperissement\\_du\\_cedre\\_de\\_l\\_atlas\\_Cedrus\\_atlantica\\_en\\_Ardeche](https://www.researchgate.net/publication/331591354_Comprendre_et_agir_contre_le_deperissement_du_cedre_de_l_atlas_Cedrus_atlantica_en_Ardeche)

## Remerciements :

Les auteurs tiennent à remercier les financeurs : le Conseil régional et la DRAAF de la région Auvergne Rhône Alpes ; le Pays de l'Ardèche verte, à l'origine de ces études ; l'ensemble des partenaires : MM. Barbe, Degenève, Giraud, Pasturel, Riocreux et Sabatier (CRPF Auvergne Rhône Alpes), MM. Améglio, Charrier et Serre (INRA, PIAF Clermont), M<sup>me</sup> Gillibert et M. Sozet (ONF), M. Baubet (DSF), M. Courbet (INRA), M<sup>me</sup> Sabatier (CIRAD), MM. Charnet, L'Hullier et Vidal (IDF-CNPF),

# FORESTER<sup>®</sup> BY ARYSTA

Insecticide forêt, plantations et bois abattus

## A CHOISI ADKALIS POUR SA DISTRIBUTION EN FRANCE

Entre les experts du bois et de la préservation, la forêt grandit !

Produit pour les professionnels : Utilisez les produits phytopharmaceutiques avec précaution. Avant toute utilisation, lisez l'étiquette et les informations concernant le produit. Avant toute utilisation, assurez-vous que celle-ci est indispensable. Privilégiez chaque fois que possible les méthodes alternatives et les produits présentant le risque le plus faible pour la santé humaine et animale et pour l'environnement, conformément aux principes de la protection intégrée. Consultez : <http://agriculture.gouv.fr/Ecophyt> - Cyperméthrine 100 g/L (9,8% poids) - Emulsion de type aqueux (EW). AMM n°2080097 (Arysta LifeScience Benelux Sprl). ATTENTION. H302 : Nocif en cas d'ingestion. H317 : Peut provoquer une allergie cutanée. H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme. EUH401 : Respecter les instructions d'utilisation pour éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement.



adkalis

CONTACT :  
Tél. : +33 (0)5 64 31 06 85  
Email : commandes-adkalis@berkem.com

[www.adkalis.com](http://www.adkalis.com)



adkalis est une filiale du  
groupe berkem

# L'arbre à fer

## Une protection gibier qui ne laisse pas indifférent

Rencontre avec son inventeur et utilisateur par Pierre Beaudesson, CNPF-SG

*Monsieur Henri LHERM, concepteur avec la famille PEYRAL, de l'arbre à fer a bien voulu répondre à nos questions sur son invention. Son expérience de sylviculteur dynamique dans un contexte de forte pression du chevreuil, a abouti à cette invention simple et efficace, connue de tous et qui continue de faire parler d'elle. Si cette protection n'est plus très utilisée en forêt, elle est très demandée par les arboriculteurs.*



P. Genin © CNPF

**M**onsieur Henri LHERM, ancien ingénieur chez Renault est depuis sa retraite sylviculteur à temps plein dans le Cantal. Il a repris dans les années quatre-vingt-dix une propriété familiale qu'il a largement agrandie depuis par des achats successifs. Sur 110 ha en deux tènements (communes de Siran et de St Gérons), Monsieur Lherm plante entre 2 et 4 ha tous les deux ans : noyers, sapins de Nordmann, cèdres, mélèzes et douglas, érables, chênes rouges en mélange ou en plein.

Le contexte cynégétique est particulier. Malgré les demandes répétées et sans succès auprès des chasseurs de l'ACCA d'augmenter la pression de chasse sur les chevreuils du secteur, il est inenvisageable d'investir dans des plantations forestières sans protection gibier. Les détenteurs du droit de chasse locaux sont surtout intéressés par la bête noire. Ayant suffisamment de surface, notre inventeur a pu sortir de l'ACCA pour ses bois sur la commune de Siran pour y développer une chasse familiale. Ses demandes réitérées d'un plan de chasse de 5 à 6 chevreuils pour 60 ha d'un seul tenant, ne lui sont pas satisfaites. On ne lui en donne que deux. Les cerfs, quant à eux, ne font que de rares passages vite repoussés par le sylviculteur attentif. Son deuxième tènement est toujours chassé par une autre ACCA, sans trop de désagrément.

### Et l'arbre à fer ?

A la question de savoir comment lui est venue l'idée d'inventer cette protection, la réponse est simple : « c'est évident, il fallait bien trouver une protection facile à poser et pas onéreuse, les piquets bois ne sont pas efficaces pour éviter les abrouissements et frottis, de nombreuses plantations en ont fait les frais ». C'est ainsi qu'à la fin des années quatre-vingt, en association avec le forgeron du village, il invente l'arme de défense. Il a fallu un an et demi pour finaliser le prototype et pour le fabriquer en série. La protection n'a pas évolué depuis. Aujourd'hui encore, l'Etablissement Peyral à Siran (15150) fabrique 150 000 à 200 000 exemplaires par an. Il compte moderniser le process de fabrication en installant de nouveaux robots. Aucun brevet n'a pas été



R. Sabatier © CNPF

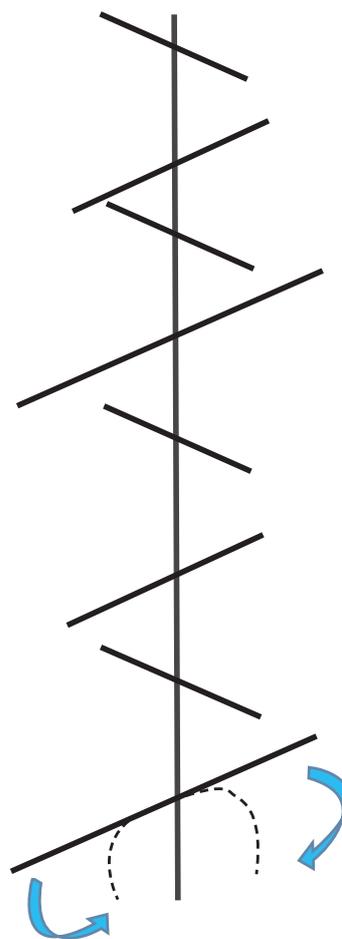
*Un arbre à fer incrusté dans l'arbre rend le bois inutilisable.*

déposé, ce type de protection existait déjà en Europe à ce moment-là.

Cette protection a été très utilisée dès le début de sa fabrication jusque dans les années 2000, pour ensuite périlcliter en milieu forestier. Cette invention a souffert de sa mauvaise utilisation (absence de suivi) et ponctuellement du refus de subvention pour la pose de protections métalliques. Actuellement, cette protection est utilisée principalement en arboriculture fruitière. Châtaigniers greffés, noyers à noix, pruniers... nécessitent plus d'intervention et de suivi au pied des arbres, ce qui permet ainsi de s'affranchir des principaux défauts de cette protection.

### Quels sont les atouts et défauts des arbres à fer ?

### SCHÉMA DE L'ARBRE À FER



© H. Lherm

#### CARACTÉRISTIQUES

**Hauteur : 116 cm**  
**Poids unitaire : 150 g**  
**Prix unitaire : public 0,65 € HT**  
**ou coopérative : 0,55 € HT**

Avantages	Inconvénients
Si bien posé, protège les plants des frottis et vraisemblablement un peu des abroustissements des chevreuils	Intrant métallique en forêt
Pose simple et très rapide	Nécessite un entretien et une surveillance : écarter les plants, redresser les protections
Léger	Blessures aux arbres, ou déformation des plants possible si la plantation est mal suivie
Non visible dans le paysage	L'incrustation du métal dans le bois le rend inutilisable
Soutien des plants contre l'écrasement par les fougères aigle	Ce n'est pas une protection contre les cerfs
Achat et pose 2 à 4 fois moins chers que les manchons de protection contre le gibier	Retrait obligatoire
Recyclable	Déchet à traiter ou à réutiliser
Construit en Auvergne !	

<sup>1</sup> La fibre sisal est notamment utilisée en milieu agricole pour lier les bottes. Ces fibres végétales se dégradent naturellement au bout de 2-3 ans si le diamètre de la ficelle n'est pas trop gros.

## Quelques conseils de l'inventeur

Avec plus de trente ans d'expérience d'utilisation de cette protection, Monsieur Lherm, dans son contexte particulier de pression du chevreuil, en arrive aux conclusions suivantes :

► Bien identifier la nécessité de protéger la future plantation : observation d'indices de présence du gibier (coulées, fèces, abroutissements et frottis...),

► Suivant les observations de présence de gibier, mettre un arbre à fer un plant sur deux. L'enfoncer dans le sol à 10 cm environ du pied du plant,

► Mettre en place très rapidement les arbres à fer pour éviter les dégâts qui peuvent survenir dès les premières heures après la plantation,

► En cas de forte présence de gibier, augmenter la densité de protection (2/3 des plants protégés, voire 100 %), en priorité sur :

- les lisières (sur les 3 à 4 premières lignes – 10-15 mètres),
- en bordure des chemins et pistes,
- les passages à gibier (coulées),

► Sur les secteurs très sensibles, compléter l'arbre à fer avec un piquet bois et une ficelle « Sisal »<sup>1</sup>.

Son inventeur rappelle que cette protection n'est pas à mettre entre toutes les mains. De fait, elle nécessite un suivi rigoureux. Tous les ans, ou tous les deux ans, il faut revenir écartier le plant de la protection où il a quelquefois tendance à s'emmêler. Cette « inspection » est l'occasion de vérifier la bonne reprise des plants et de les dégager. Bien sûr, au bout de 5 à 8 ans, en fonction de la croissance des arbres, il faut les retirer. Le retrait de ces protections demande un travail d'autant plus fastidieux que la végétation adventice s'est développée. Cette végétation prend le relais pour la protection contre le gibier et gaine les plants. Le premier élagage sera l'occasion de vérifier que tous les arbres à fer sont bien retirés.

L'auteur rappelle que la meilleure des protections en cas de dégâts importants, reste la baisse des populations de gibier. La nécessité d'une protection est un constat d'échec de l'équilibre sylvo-cynégétique.

Lorsque les demandes successives d'augmentation du plan de chasse par le sylviculteur restent lettres mortes, comme c'est le cas chez Monsieur Lherm, ce déséquilibre est de la responsabilité des fédérations de chasse. Comme le rappelle notre inventeur, non seulement les propriétaires payent les protections gibier, leur mise en place, leur entretien puis leur retrait, mais en plus, ils doivent payer les bracelets, et bientôt la taxe à l'hectare, dont les fonds servent à indemniser les dégâts agricoles et non ceux occasionner aux forêts. ■



© H. Lherm

*M. Lherm confirme qu'en secteur de très forte pression de gibier, l'arbre à fer avec piquet et ficelle rend cette protection 100 % efficace.*

# RÉPULSIF CERVIDÉS

En Forêt

Homologué en France et Belgique



## LA SOLUTION EFFICACE RECONNUE PAR TOUTE LA PROFESSION FORESTIERE

- **Produit NATUREL**, sans classement toxicologique ;  
→ Bio contrôle
- Alternative **très économique** comparée aux gaines, tuteurs, clôtures, etc.
- Application par **simple pulvérisation du TRICO pur**, en forêt ou en pépinière avant plantation.  
→ **Ne pas diluer** pour une meilleure durée d'efficacité.
- Selon climatologie et espèces, jusqu'à **4 mois de protection** en période sensible



PLANT CONIFÈRE PROTÉGÉ



PLANT FEUILLU PROTÉGÉ



06 02 06 42 43



smigot@solutions-plants.com



Tous les détails sur [www.solutions-plants.com](http://www.solutions-plants.com)



# Pépinières PLANFOR

**Pourquoi choisir du plant en motte ?**

**Reprise garantie à 90%\***

**+**

**Adaptation aux changements climatiques**

**+**

**Sylviculture moderne et performante**

**Capacité de production  
+ de 20 millions de plants par an  
Pins, Douglas, Chênes...**

\*Après acceptation du contrat de fourniture et de garantie

**Planfor vous accompagne dans la réussite de vos projets**  
Mail : [pepiniere@planfor.fr](mailto:pepiniere@planfor.fr) | Tél : 05.58.75.03.96