

#75

# RenDez-Vous techniques

**Extension du risque  
feux de forêt :  
comment l'ONF  
se prépare**

Été 2022

03

## AVANT-PROPOS

Deux thèmes, un enjeu :  
défendre la vitalité des forêts

04

## PRATIQUES

Comment l'ONF se prépare  
face à l'augmentation du risque  
incendie de forêt dans les années  
à venir

Par Jean-Louis Pestour et Christophe Chantepy

12

## MÉTHODES

La carte nationale de sensibilité  
de la végétation forestière aux  
incendies

Par Rémi Savazzi, Jean-Luc Kicin et Benoit Reymond

24

## ZOOM

La gestion du risque incendie  
dans le massif de Fontainebleau

Par Matthieu Augery

27

## PRATIQUES

Préparer les ressources  
génétiques de demain :  
concevoir de nouveaux vergers à  
graines

Par Joël Conche

40

## CONNAISSANCES

Évaluation des vergers à graines  
de Douglas : synthèse des  
résultats au stade juvénile

Par Yves Rousselle, Jean-Charles Bastien, Didier Bier,  
Didier François, Rémy Gobin, Sabine Girard, Stéphane  
Matz, Gwenael Philippe



Cliquer sur un titre pour aller  
directement à l'article souhaité



En fin d'article, cliquer sur ce bouton  
pour revenir au sommaire

# Deux thèmes, un enjeu : défendre la vitalité des forêts

**E**n dépit des gelées sévères d'avril, le printemps et l'été 2022 auront encore battu des records de chaleur et de sécheresse sur l'ensemble du territoire métropolitain. Records qui se sont accompagnés d'un nombre accru d'incendies de forêt, dont on a hélas subi les effets en de multiples endroits, sans compter les dépérissements encourus à plus long terme par des arbres déjà durement éprouvés les années passées.

Or ce n'est sans doute qu'un début. L'adaptation des forêts aux changements climatiques, la nécessité impérieuse de sauvegarder leur vitalité et toutes leurs fonctionnalités, tout cela exige qu'on anticipe et qu'on s'organise, dans les divers aspects de la gestion durable. Ce numéro des *RenDez-Vous techniques* en donne deux exemples très différents, qui illustrent à la fois l'acuité et la diversité des questions à affronter.

Le premier exemple montre la façon dont **l'ONF se prépare face à l'augmentation du risque d'incendie** de forêt dans les années à venir. Comment il renforce son organisation, ses méthodes et ses outils à l'échelle nationale, dans un contexte réglementaire et institutionnel très complexe, et comment on s'empare de cette évolution dans une agence territoriale, en l'occurrence avec le cas de celle de Fontainebleau. L'été « brûlant » que nous venons de vivre a secoué la société tout entière et suscité -ou ravivé- des réflexions de fond de tous les acteurs impliqués aux différentes échelles territoriales, nationale voire européenne. L'ONF contribue ainsi avec toute son expertise et son réseau territorial à ces discussions aux différents niveaux et pourra ensuite, lorsque les décisions auront été prises, contribuer à leur mise en œuvre.

Le second exemple concerne **la conception de nouveaux vergers à graines**. Cela peut paraître assez abstrait de prime abord et cependant c'est un problème extrêmement concret, qui s'inscrit dans les réflexions sur les besoins en plantation à moyen terme pour le renouvellement de peuplements dépérissants ou pour l'enrichissement en essences/provenances adaptées aux conditions locales actuelles et futures. Le risque accru d'incendie s'insinue d'ailleurs dans cette problématique, au titre des besoins en graines (et plants) pour la reconstitution de forêts sinistrées mais aussi au titre des aléas qui pèsent sur les peuplements sources de graines... et les vergers eux-mêmes. Finalement, tout se tient.

# Comment l'ONF se prépare face à l'augmentation du risque incendie de forêt dans les années à venir ?

**Avec le réchauffement climatique, le risque feu de forêt s'intensifie et s'étend à des régions peu exposées jusqu'ici, comme en témoignent les incendies de ce printemps-été 2022. Le propos n'est pas ici de faire un bilan d'actualité, mais de rappeler ce qui se fait à l'ONF en matière de prévention, et comment on se prépare pour relever le défi de l'augmentation du risque.**

Les derniers rapports du GIEC n'ont fait que confirmer la tendance lourde observée ces dernières années au sujet du risque d'incendies de forêt. La probabilité de connaître de gros incendies aux conséquences potentiellement dramatiques pour les personnes, les biens et les espaces boisés va augmenter dans le Sud de la France ; et en même temps, la septentrionalisation du risque est en marche.

L'expérience acquise dans les territoires historiquement concernés par ces incendies de forêt doit être mise au profit des territoires à risque émergeant.

Cet article présente les actions de l'ONF sur le sujet des incendies de forêt et rappelle les facteurs d'augmentation du risque, puis il expose les démarches en cours ou à entreprendre pour faire face à cette extension du risque.

## L'implication de l'ONF dans la DFCI - défense des forêts contre l'incendie

L'ONF assure actuellement trois types d'interventions en matière de défense des forêts contre l'incendie :

- des actions de prévention et de gestion des risques correspondant à des missions d'intérêt général confiées par l'État (voir encadré) ;
- la prise en compte de la protection des forêts contre l'incendie dans la gestion durable des forêts publiques ;
- des prestations d'expertise auprès de l'État, des collectivités ou de grands opérateurs.

### ■ La mission d'intérêt général « Défense des forêts contre l'incendie » - MIG DFCI – dans le sud de la France

La mise en œuvre de la MIG DFCI est principalement assurée par une agence spécialisée DFCI, basée à Aix-en-Provence, qui est territorialement compétente sur les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie. Cette agence est composée de 215 personnes dont des ouvriers forestiers spécialisés, les Agents pour la Protection des Forêts Méditerranéennes (APFM). Depuis le début des années 1980, les missions portent sur des travaux de débroussaillage et d'entretien des équipements DFCI, du brûlage dirigé, ainsi que la mise en œuvre des patrouilles estivales de prévention, surveillance et primo-intervention sur feux naissants.

La MIG DFCI s'étend également en Corse et dans les départements de la Drôme et de l'Ardèche. Les personnels de la DT Corse et de l'agence Drôme/Ardèche mettent donc également en œuvre les missions relatives à cette MIG. L'ONF mobilise également ses personnels dans les autres agences territoriales pour contribuer activement à la prévention des risques ainsi qu'aux dispositifs opérationnels arrêtés par les préfets des départements concernés, en lien avec les DDT, les SDIS, les Conseils Départementaux et d'autres collectivités locales.

Les actions menées en matière de DFCI présentent plusieurs composantes : avant la saison DFCI, pendant la saison DFCI et après un incendie.

## Le cadre des Missions d'Intérêt Général réalisées à la demande de l'État en matière d'incendie de forêt

La défense des forêts contre les incendies (DFCI), et plus largement la prévention des incendies de forêts, relève d'une politique de l'État qui mobilise plusieurs ministères. Le Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA) intervient en amont sur le volet « prévention des feux de forêts », sous l'angle de la protection des massifs forestiers, le Ministère de l'Intérieur sur le volet « lutte » (sécurité civile et moyens aériens), et le Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT) sur le volet « prévention des risques » au sens de la protection des biens et des personnes (principalement par la prise en compte du risque feux de forêts dans les documents d'urbanisme).

L'ONF est l'un des acteurs nationaux majeurs de cette politique qui est mise en œuvre dans le cadre des Missions d'Intérêt Général (MIG) que lui confient ses ministères de tutelle. Ces missions, que l'ONF exécute avec ses moyens propres, ont été confirmées dans le Contrat d'Objectif et de Performance État-ONF 2021-2025 qui prévoit le confortement des moyens affectés. Les missions confiées et leurs attendus sont fixés dans des conventions-cadre avec les ministères, et leurs programmes de travail sont précisés chaque année.

La mission d'intérêt général DFCI proprement dite est financée par le MASA (13,5 M€ en 2022), financement auquel se rajoutent en année moyenne 3 M€ en provenance de la Délégation à la Protection de la Forêt Méditerranéenne (DPFM) sur la zone de Défense Sud (voir Fig. 5 p. 10) La mise en œuvre de cette mission est pour l'ONF une action majeure en zone méditerranéenne.

Par ailleurs, le MASA finance aussi des actions de prévention des incendies dans le cadre de la mission d'intérêt général pour les Outre-Mer (0,2 M€ dédié en 2021). Cela concerne en particulier l'île de la Réunion, sujette à incendies sévères, où l'expertise développée en métropole a permis de structurer une démarche opérationnelle de prévention (plan de massif, système d'alerte, positionnement de points d'eau...).

De son côté, le MTECT confie également à l'ONF une mission d'intérêt général, qui correspond à des actions d'appui au profit des services déconcentrés et du niveau national. Il s'agit d'actions à l'échelle nationale de prévention des risques d'incendie de forêt et de végétation, de développement de méthodologie (en particulier sur les interfaces forêt/habitat) et d'outils nationaux, et aussi d'actions d'informations, de sensibilisation et de prévention dans les territoires (0,5 M€ en 2022).

Le pilotage des MIG est assuré par la direction générale de l'ONF (direction Forêt et Risques Naturels), qui s'appuie sur un responsable technique national incendies de forêts (basé à Aix en Provence), sur une agence spécialisée (agence DFCI rattachée à la Direction Territoriale Midi Méditerranée) et sur les directions et agences territoriales qui en assurent la mise en œuvre et représentent l'ONF auprès des préfets.

**En dehors des périodes à haut risque d'incendies de forêts**, les personnels APFM sont notamment chargés de réaliser des travaux sur des équipements DFCI (pistes, citernes...), afin de les maintenir en état opérationnel pour les services de secours (Fig. 1A). Dans chaque département, un programme d'actions, arrêté en liaison avec les services de l'État, fixe la liste des ouvrages à entretenir au cours de l'année.

**Au cours des périodes à haut risque d'incendie**, les personnels de l'ONF effectuent plusieurs types de patrouilles (Fig. 1B), en fonction de l'ordre général d'opérations feux de forêts de chaque département (arrêté préfectoral portant organisation de la lutte contre les incendies de forêt) :

- Des patrouilles mobiles de surveillance et d'intervention (PSI) ; ces patrouilles réalisées par deux personnels ouvriers avec un véhicule porteur d'eau, sont chargées de détecter précocement les départs d'incendies, de donner et de qualifier l'alerte, d'orienter les secours vers les feux naissants, et de première intervention. Elles jouent également un rôle d'information auprès du public rencontré.
- Des patrouilles de surveillance et contrôle (PSC), chargées du contrôle du respect des réglementations, d'information du public et de la surveillance du territoire.
- Des patrouilles de police renforcée (PPR), chargées plus spécifiquement de missions de police.

Dans les 2 derniers cas, elles sont mises en œuvre par des personnels assermentés. La tenue de vigie d'observation et de détection des fumées suspectes fait aussi partie des missions possibles en été.

D'autre part, l'ONF intervient dans le contrôle de l'obligation légale de débroussaillage (OLD) instituée par les articles L. 131-10 et suivants et L. 134-5 et suivants du code forestier. C'est la mesure de prévention la plus efficace pour réduire l'intensité et la propagation d'un incendie de forêt, notamment aux abords des habitations et des voies de circulation. Pour le compte des préfetures, l'ONF vulgarise cette réglementation et effectue des contrôles de sa bonne application (Fig. 1C).

**Après le passage d'un incendie**, la contribution des personnels de l'ONF concerne la recherche des causes et des circonstances des incendies, ainsi que la participation aux retours d'expérience et l'expertise sur les travaux d'urgence (Fig. 1D).

## La prise en compte de la protection contre les incendies dans la gestion durable des forêts publiques

Dans le cadre de la mise en œuvre du régime forestier sur les forêts publiques, l'ONF intègre leur protection contre le risque d'incendie dans ses actions de gestion durable. Cela peut se traduire par l'intégration aux documents d'aménagement de mesures spécifiques en matière de sylviculture (choix d'essences plus résistantes au feu, par exemple), ou d'équipements préventifs (citernes, aire de croisement sur les route forestières...)

## L'expertise rémunérée en appui à des collectivités ou opérateurs publics

Le haut niveau d'expertise acquis par l'ONF permet également d'apporter un appui aux collectivités ou à des opérateurs (SNCF réseau, Vinci Autoroute, TDF...) pour la gestion de leurs infrastructures ou de leur patrimoine avec une amélioration de la mise en sécurité vis-à-vis du risque incendie et une parfaite mise en œuvre des obligations légales de débroussaillage (plan de débroussaillage pour les communes).

De même, l'intervention de l'ONF peut être sollicitée par les services de l'État (DDT) pour l'élaboration de carte d'aléa feu de forêt ou de Plan de Prévention des Risques d'Incendies de Forêt (PPRIF).

## L'aggravation du risque d'incendies de forêt

La DFCI est opérationnelle dans les régions du sud de la France exposées de longue date, cependant la vulnérabilité augmente. Plusieurs facteurs se combinent, conduisant à un risque de feu de forêt accru à l'échelle de la zone méditerranéenne mais aussi sur l'ensemble du territoire métropolitain et ponctuellement outre-mer ; à La Réunion et Mayotte en particulier.

**La déprise agricole** s'accompagne d'une reconquête des milieux par de la végétation ligneuse, générant ainsi augmentation de la masse végétale combustible et une continuité végétale propice à la propagation des feux des friches vers la forêt. Cet ensemble friche-forêt est particulièrement sensible à l'incendie en raison de l'inflammabilité des végétaux de lisière (herbacées) en période sèche et de la combustibilité globale (végétaux arbustifs de petit diamètre répartis sans discontinuité de strate avec une part morte et sèche importante, accompagnée de quelques végétaux arborescents).

La déprise agricole combinée à l'étalement urbain accroît mécaniquement la longueur des interfaces entre zones de végétation combustible et zones existantes d'habitations ou d'activités. Il en est de même avec les infrastructures qui se développent dans des zones sensibles aux incendies ou à proximité. Cet accroissement du linéaire d'interfaces forêt/habitat multiplie le risque de départs de feux, qui sont pour 90% liés à l'activité humaine.

**Le changement climatique**, enfin, va générer des périodes à risques plus importantes dans le temps et l'espace avec des intensités aussi en augmentation plus ou moins forte selon les simulations correspondant aux différents scénarios du GIECC. La température moyenne va augmenter, ainsi que la fréquence des températures extrêmes et des épisodes venteux, facteurs déterminants pour l'éclosion et la propagation des incendies. Les périodes de sécheresse devraient aussi être plus longues et potentiellement plus intenses.



© E. Facon / 16Prod / ONF

A. Travaux de maintien en état opérationnel des équipements DFCl



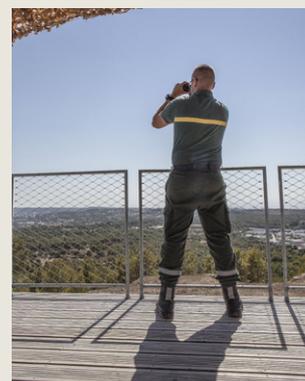
© Giada Conestari / ONF



© Bruno Teissier-du-Cros / ONF

© 16Prod / ONF

B. Patrouilles de surveillance et de première intervention et vigie d'observation



© Frédéric GLION



© Bruno Teissier-du-Cros / ONF

C. Illustrations relatives aux obligations légales de débroussaillage (OLD)



© Christophe Chantepy / ONF



© J.C. Milhet

D. Retour d'expérience et recherche des causes



© J.C. Milhet

↑ **Figure 1.** Les actions de mise en œuvre de la MIG DFCl

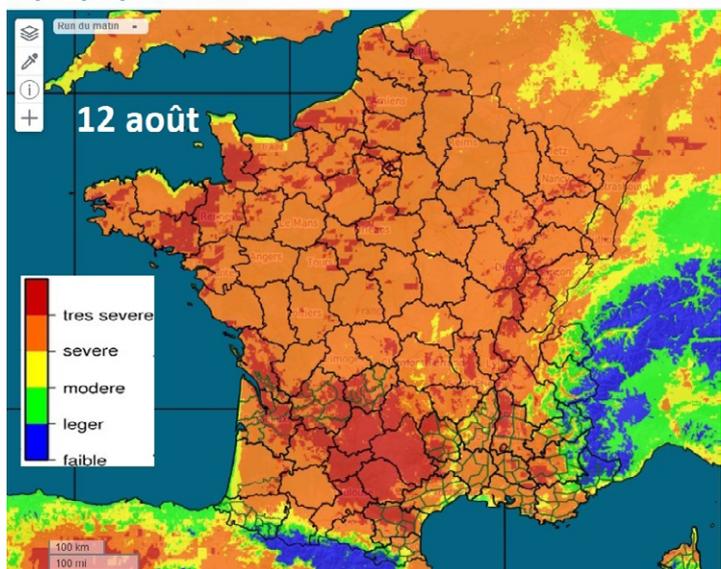
## La prise en compte de l'augmentation du risque dans l'organisation de l'ONF

Dans les secteurs historiquement peu concernés, il devient urgent d'installer une acculturation collective au risque d'incendies de forêt afin de se préparer à y faire face. Les incendies récents dans le Sud-Ouest et en Bretagne rappellent cette urgence. L'ONF met en place et anime un réseau de référents Incendie de forêt en directions et agences territoriales (y compris outre-mer), avec pour objectif de leur permettre une montée en compétence progressive en lien avec les enjeux des différents territoires, grâce à l'expérience et aux approches développées dans le sud de la France.

Cette acculturation du réseau peut prendre plusieurs formes :

- Formation au suivi des indices de risques utilisés par Météo-France pour caractériser le danger en matière d'incendie en lien avec les conditions météorologiques (vent, température, nébulosité) (Fig. 2).
- Appui à la rédaction d'arrêtés préfectoral visant à réglementer l'usage du feu, à restreindre certains travaux pendant les périodes à risque (Tab. 1) ou mettre en place des obligations légales de débroussaillage dans certains secteurs (avec définitions technique des travaux à réaliser).
- Identification des massifs à risques avec propositions d'actions spécifiques : travaux (bandes débroussaillées de sécurité, point d'eau, pistes d'accès), mise en place de patrouilles (avec véhicule porteur d'eau ou de surveillance et contrôle).
- Retour d'expérience sur les incendies constatés.
- Aide à la réflexion sur la pertinence de fermeture de massif à risque (limitation de la fréquentation), et accompagnement à la mise en œuvre le cas échéant.
- Appui à la mise en place d'un suivi hydrique de la végétation. La méthodologie en place dans la zone de défense Sud est mise à profit. Elle vise à collecter chaque semaine certains végétaux sur des sites identifiés et mesurer leur teneur en eau. Le niveau de dessiccation de la végétation et son évolution d'une semaine sur l'autre permettent d'affiner l'évaluation de la sensibilité de la végétation (Fig. 3).
- Appui pour l'organisation et la mise en œuvre de patrouilles.
- Organisation d'information et de sensibilisation à la prévention des risques d'incendie de forêt et de végétation à destination de différents publics.

Danger Intégré Végétation Vivante SIG



↑ Figure 2. Exemple de carte de prévision du danger disponible sur le site de Météo France Pro (août 2022)

Usage du feu par le propriétaire	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
							15			15		
Brûler des végétaux coupés dans et jusqu'à 200 m de bois	Possible (*) sans déclaration		Possible (*) avec déclaration			<b>INTERDIT</b>		Possible (*) sans déclaration				
Brûler des végétaux sur pied dans et jusqu'à 200 m de bois	Possible (*) avec déclaration					<b>INTERDIT</b>		Possible (*) avec déclaration				

↑ Tableau 1. Exemple de réglementation de l'usage du feu prise en vertu de l'article L131-6 du code forestier réduisant les possibilités d'apport de feu en forêt, même pour le propriétaire du fonds



↑ Figure 3. Prélèvement d'échantillons et mesure de l'humidité pour le suivi de l'état hydrique de la végétation

© Nathalie Petrel / ONF

Le déploiement ou la mise à disposition d'outils développés en DT Midi-Méditerranée ou dans d'autres territoires permet également d'affiner la connaissance des feux (causes, importance numérique, importance surfacique...). C'est le cas de l'outil Digi'Constat, lauréat du challenge ONF *Graines d'innovation 2021*, qui permet de programmer, suivre et rendre compte des missions de police pilotée, en particulier pendant la campagne DFCI (un module spécifique est en cours de développement) ; testé en 2022 pour mise en place en 2023, il a vocation à devenir un outil national. Signalons encore :

- la mise à disposition des contours des feux de plus de 25 ha, grâce à l'exploitation d'images satellites (agence DFCI) ;
- l'utilisation de l'outil drone pour la surveillance ponctuelle (agence Fontainebleau) ou l'établissement de contour de feu lors d'écobuage (agence Pyrénées Atlantiques) ;
- le développement et la mise à disposition d'un outil pour l'identification des parcelles cadastrales soumises à OLD et la définition de la zone à débroussailler (agence Landes - Nord Aquitaine) ;
- la valorisation des données Lidar pour analyser la biomasse combustible disponible...

La formation et l'appui que l'agence DFCI apporte aux autres territoires peut concerner aussi

- l'utilisation et la maîtrise des brûlages dirigés en espaces naturels ;
- la mise en place d'une cellule de recherche des causes et circonstances d'incendie (pompier + gendarme + personnel ONF) ;
- la cartographie du risque ;
- la connaissance et l'utilisation de la Base de Données Incendies de Forêts en France (**BDIFF**)
- la connaissance de la réglementation applicable en fonction du territoire concerné.

## Organisation du partenariat avec les intervenants extérieurs à l'ONF

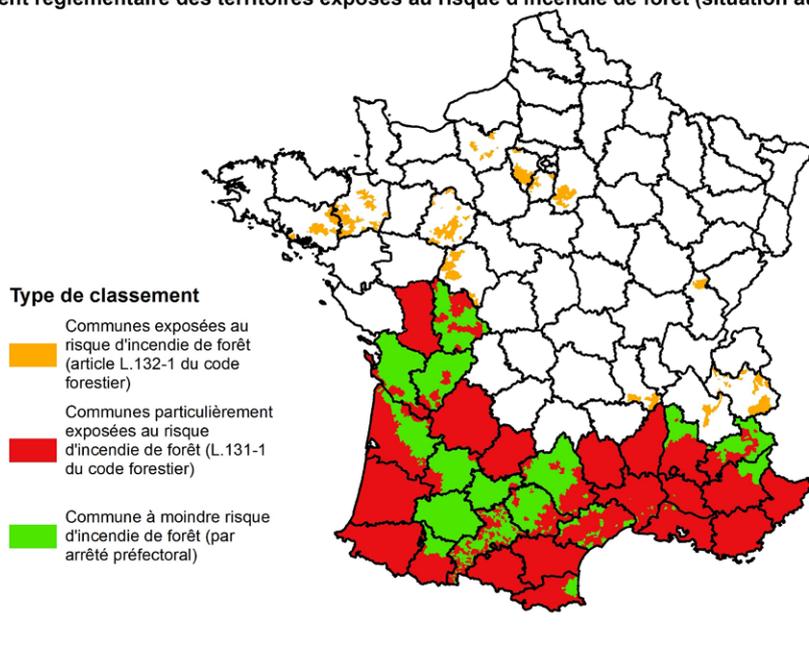
Le sujet des incendies de forêt concerne plusieurs ministères et de multiples acteurs institutionnels et il est primordial de bien les connaître pour que les actions soient coordonnées, et que les compétences de l'ONF soient connues et reconnues.

### Une grande variabilité de fonctionnement et d'acteurs

La compétence juridique en matière de DFCI ne figure explicitement dans aucun texte législatif ou réglementaire et son contour peut être variable. Ainsi la prévention des incendies n'est de la compétence exclusive ni de l'État, ni des collectivités territoriales, ni des services départementaux d'incendie et de secours (SDIS).

La DFCI est structurée de manière complexe avec une extrême variabilité de fonctionnement d'un département à l'autre. Les territoires exposés au risque d'incendie de forêt sont fixés par la loi (article L.1331- du code forestier). Ils concernent actuellement 32 départements au sein desquels les préfets peuvent identifier des massifs à moindre risque. *A contrario*, sur l'ensemble du territoire national restant, les préfets peuvent, s'ils l'estiment nécessaire, identifier des massifs forestiers à risque (article L.132-1 du code forestier). De ces classements dépendent la mise en œuvre de plusieurs réglementations, la mobilisation de crédits publics, et la rédaction de Plans départementaux de protection des forêts contre les incendies (PDPFCI) (Fig. 4)

**Classement réglementaire des territoires exposés au risque d'incendie de forêt (situation au 01/12/2021)**



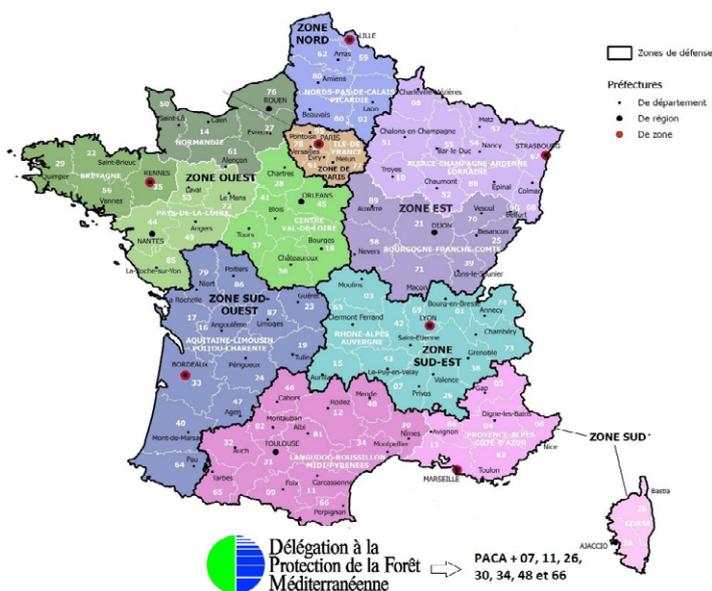
← **Figure 4.** Cartographie des territoires/départements réputés à risque d'incendie de forêt (Art. L132-1 et L.133-1 du code forestier).

Les politiques locales sont construites et articulées autour du Conseil départemental, du SDIS et du Préfet de département. L'implication des conseils départementaux, non obligatoire, est très hétérogène selon les départements.

Le volet mise en place et entretien d'équipements à vocation DFCI sur le terrain est en général pris en charge par les intercommunalités qui s'appuient sur le PDPFCI arrêté par le préfet ; ce PDPFCI est un document cadre de niveau départemental décliné par des plans de massifs à l'échelle intercommunale.

Le niveau régional est souvent peu présent au plan technique mais peut intervenir au plan financier, en particulier au niveau des programmes européens finançant la DFCI (FEADER) qui pour la nouvelle programmation (2021-2027) sont gérés intégralement par le Conseil régional (instruction des dossiers et gestion des financements européens sur ce thème).

En matière de lutte le niveau départemental est prépondérant avec les SDIS, mais la coordination des moyens terrestres et aériens s'effectue au niveau zonal (Fig. 5), voire éventuellement au niveau national ou européen en fonction de l'importance et du nombre d'incendies.



↑ **Figure 5.** Carte des zones de défense et de sécurité métropolitaines. Singularité administrative méditerranéenne créée en 1987, la Délégation à la Protection de la Forêt Méditerranéenne est un service de l'État placé sous l'autorité du préfet de la zone de défense Sud et dédié à la prévention des incendies de forêt. La DPFM met en œuvre politique zonale de l'État dans ce domaine et assure l'harmonisation de l'application départementale.

## État, collectivités territoriales, établissements publics et autres organismes

L'État est au premier rang des acteurs de la prévention et de la défense des forêts contre les incendies, avec 4 ministères concernés :

- le ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire (DGPE - Direction Générale de la Performance Economique), représenté au niveau territorial par les DDT (M), les DRAAF et, en zone Sud (cf. Fig. 5), par la DPFM (Délégation à la Protection de la Forêt Méditerranéenne) qui coordonne le sujet avec les collectivités locales ;
- le ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (DGPR - Direction Générale de la Prévention des Risques) représenté localement par les DDT(M) et les DREAL ;
- le ministère de l'Intérieur (DGSC - Direction Générale de la Sécurité Civile), qui pilote la lutte en s'appuyant au niveau zonal sur les EMIZ (État-major interministériel de zone) et au niveau départemental sur les SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours); par ailleurs la gendarmerie est impliquée dans des interventions de police inter-service avec l'ONF et parfois l'OFB (Office Français pour le Biodiversité) ;
- le ministère de la justice, enfin, via l'instruction annuelle donnée aux procureurs de la République sur l'application stricte de la réglementation en matière d'OLD (et emploi du feu) et les poursuites à engager contre ceux qui ne la respecteraient pas. L'action de l'État est évidemment coordonnée de manière globale par le préfet de département.

Les collectivités territoriales sont aussi parties prenantes : régions, départements, intercommunalités, communes, ainsi que leurs regroupements et établissements publics. Cela concerne notamment l'Entente pour la protection de la forêt méditerranéenne qui coordonne des actions à l'échelle de l'ensemble de la Zone Sud, dont l'École d'Application de la Sécurité Civile à Valabre (Bouches du Rhône) où des formations sur la DFCI sont données aux cadres SDIS de la France entière (avec des interventions de l'agence DFCI). Cet établissement public œuvre également en matière de développement d'outils cartographiques et réalise des supports de communication sur la prévention des Incendies.

Les associations nationales, régionales et départementales des collectivités forestières (COFOR) sont également des partenaires privilégiés pour l'ONF, notamment sur leur rôle en matière d'information/sensibilisation et d'aménagement du territoire.

Autres acteurs indispensables, enfin, les établissements publics comme Météo-France et les organismes de recherche - INRAE en particulier - pour la connaissance et l'anticipation des phénomènes et, sur le terrain, l'ONF et les organisations de la forêt privée : Centres régionaux de la propriété forestière, ASA ou ASL de propriétaires, Syndicat de propriétaires privés.

Parmi cette multitude d'acteurs, l'ONF est positionné comme un acteur majeur de la DFCI. En participant aux diverses commissions ou réunions relatives aux incendies de forêts, en répondant aux sollicitations des préfets ou des SDIS, l'ONF mobilise son expertise sur le sujet. Les DT ont un rôle particulier à jouer vis-à-vis des conseils régionaux pour que les questions de DFCI soient intégrées dans les documents de programmation avec des mesures adaptées. De même, les agences territoriales doivent travailler auprès des DDT(M) et des Conseils départementaux pour identifier les besoins et les financements adaptés.

## Communication interne et externe

Pour une appropriation collective du risque incendie de forêts, il est important de développer conjointement la communication interne et la communication externe sur le sujet. L'agence DFCI en lien avec la Direction de la communication a ainsi engagé en 2022 plusieurs démarches :

- Mise en place un groupe dédié « incendie de forêts » dans Chlorofil, le réseau social interne. Il compte actuellement 140 abonnés et permet le relais d'actualités, d'analyse juridique, d'expérience, mais correspond aussi à un espace d'échange entre acteurs de la DFCI.
- Instauration de la parution d'au moins un post par mois traitant de la DFCI sur les réseaux sociaux où l'ONF est actif (facebook, twitter, linkedin, instagram).
- Actualisation du site [www.onf.fr](http://www.onf.fr) avec plusieurs articles traitant de la DFCI regroupés dans une page dédiée (**Feux de forêt : tout ce qu'il faut savoir (onf.fr)**) et comprenant des vidéos présentant l'activité des APFM et de l'agence DFCI en période estivale et en période hivernale (<https://youtu.be/ywzsl133Gmc>) (<https://youtu.be/vlHalGxAil4>).
- Établissement de bulletins d'information sur la situation des incendies de forêt en France tout au long de l'année et tous les quinze jours en période estivale. Ces bulletins sont diffusés par mail, en interne (agence DFCI, référents DFCI, Direction Générale), ainsi qu'aux principaux partenaires externes (ministères, état-major de zone, DDT, SDIS).

Par ailleurs, dans le cadre du partenariat avec le MTECT, l'ONF participe depuis 2020 à l'élaboration de la campagne de communication mise en place au niveau national avant l'été, pour sensibiliser nos concitoyens au risque feu de forêt (Fig. 6).



↑ **Figure 6.** Un des supports de la campagne nationale 2022 de prévention des feux de forêt. (voir aussi sur le site du MTECT la page [feux de forêt et de végétation](#))

## Un défi collectif à relever

En conclusion, la mise en ordre de marche pour la prévention des incendies de forêt fait partie des défis majeurs que l'ONF va devoir relever, en coopération avec de multiples partenaires. Ce n'est déjà plus l'apanage des départements du sud ou du massif aquitain ; cela concerne ou concernera à terme tous les services de l'ONF.

Ce défi dépasse la simple gestion des forêts relevant du régime forestier mais présente des enjeux globaux de protection de la forêt publique et privée et des enjeux d'aménagement du territoire en matière de répartition entre espaces naturels, forêt, espaces agricoles et urbains. La préparation et l'anticipation sont gages de réussite pour endiguer le nombre et les conséquences des incendies de forêt.

Jean-Louis Pestour<sup>(1)</sup>, Christophe Chantepy<sup>(2)</sup>

1. ONF, responsable national DFCI et directeur de l'agence DFCI Midi-Méditerranée
2. ONF, expert DFCI à l'agence DFCI Midi-Méditerranée



# La carte nationale de sensibilité de la végétation forestière aux incendies

**Se préparer au risque accru d'incendie, c'est aussi se donner des outils de diagnostic à l'échelle nationale. Les spécialistes ONF y travaillent, en collaboration avec INRAE et Météo-France. La cartographie de la sensibilité de la végétation aux incendies permet déjà une veille efficace au quotidien et ouvre des possibilités de modélisation pour anticiper les évolutions futures. Mais l'élaboration d'une telle carte est complexe et il reste encore beaucoup à faire pour évaluer au mieux les sensibilités effectives d'aujourd'hui et demain.**

Le risque incendie de forêt en France a longtemps été considéré comme l'apanage de la forêt landaise et de la zone méditerranéenne, et il est depuis longtemps étudié et cartographié sur ces deux territoires. Cependant les effets du changement climatique se font sentir déjà depuis quelques années, et l'émergence de nombreux événements sur le reste du territoire métropolitain fait ressortir le besoin d'une évaluation nationale du risque d'incendie de forêt.

Une première étude interservices a été produite en 2010 pour répondre à ce besoin dans la mesure des éléments d'expertise mobilisables. Dix ans plus tard, les ministères de l'Agriculture et de l'Écologie ont octroyé de nouveaux financements pour permettre une mise à jour de ce travail. Les principes de la méthode et les premiers résultats ainsi que les analyses restant à mettre en œuvre sont présentés dans cet article.

## Rappels sur l'étude initiale de 2010

La mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles aux feux de forêts (appelée « mission Chatry ») a souhaité réaliser une approche cartographique nationale de cette extension, en faisant appel aux compétences de plusieurs organismes nationaux : l'ONF, l'IFN et Météo France.

L'approche s'est basée sur de nombreuses hypothèses qui restaient à préciser et les résultats ne pouvaient donc pas être considérés comme "la" vérité intangible et incontestable, mais comme un aperçu d'une situation assez plausible.

À partir de l'analyse des incendies passés significatifs hors région méditerranéenne lors de grandes années de sécheresse, et des connaissances empiriques de l'ONF sur les feux majeurs en région méditerranéenne, en particulier dans l'arrière-pays, il est apparu possible d'estimer la sensibilité au feu des formations forestières, en tenant compte notamment de leurs conditions stationnelles particulières.

Les principales hypothèses reposaient sur une analyse des seuls incendies estivaux, en se basant sur les formations en place dont la sensibilité potentielle ne s'exprimerait que dans les zones qui auraient à l'horizon 2040 des conditions de danger météorologique d'incendie équivalentes à celles du moyen pays méditerranéen au début des années 2000. Ces conditions ont été approchées à partir d'analyses statistiques et de simulations aux horizons 2040 et 2060 de l'Indice Forêt Météo (IFM), indice composite calculé par Météo France à partir de données météorologiques simples et destiné à la prévision du danger d'incendie (voir encadré).

Cette étude innovante (Fig. 1) avait cependant un certain nombre de manques, d'incertitudes et d'approximations découlant d'hypothèses parfois réductrices et de la disponibilité voire de la qualité des données utilisées (difficulté de trouver à l'échelle nationale des données à la fois homogènes, précises et récentes). Plusieurs pistes d'amélioration avaient alors été identifiées, dont :

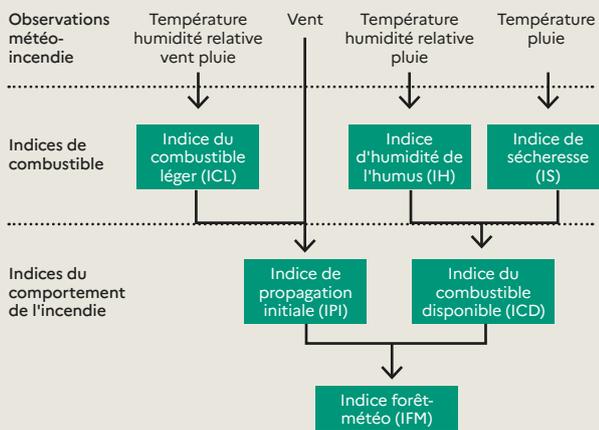
- l'amélioration de la cartographie de la végétation,
- l'amélioration de l'évaluation des réserves en eau des sols,
- la prise en compte des feux d'hiver,
- la prise en compte des feux de culture,
- la prise en compte des risques de dépérissement,
- la prise en compte des nouveaux scénarios du GIEC,
- la prise en compte de divers indices météorologiques.

## L'Indice Forêt Météo

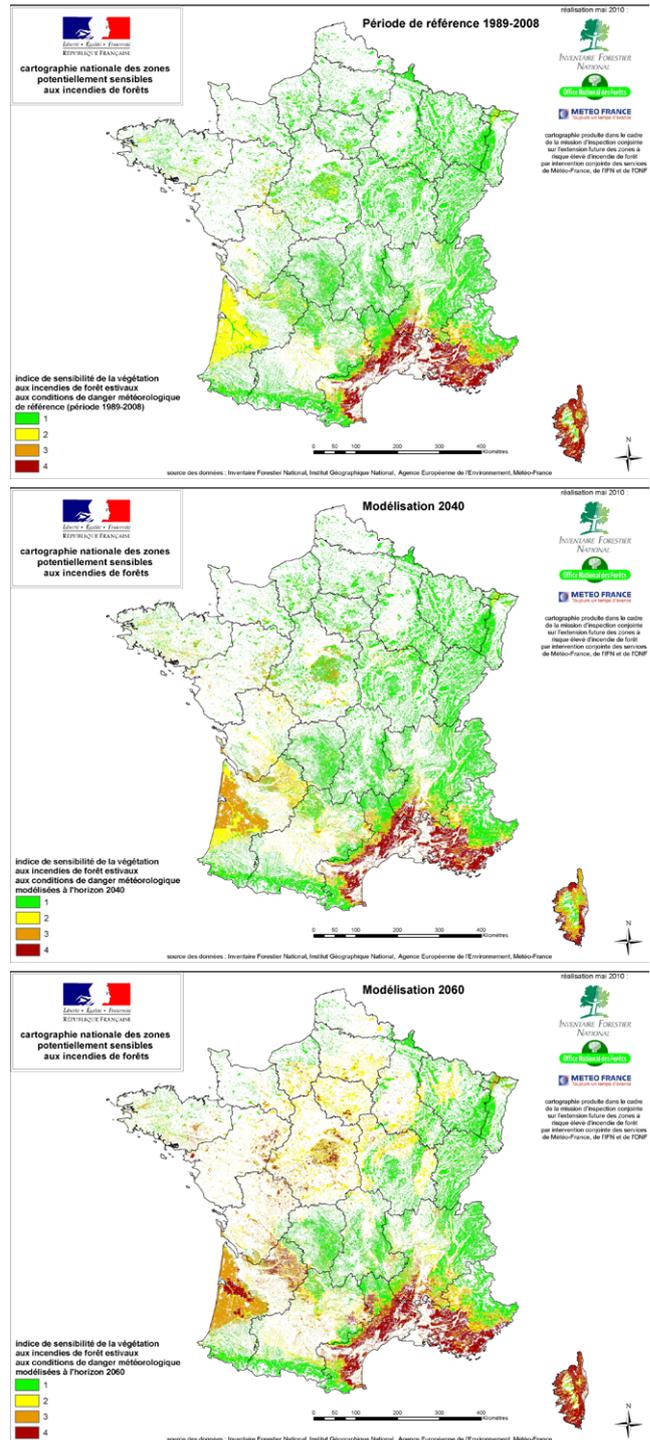
L'Indice Forêt Météo (IFM ou FWI en anglais) a été développé dans les années 1970 au Canada sur la base d'un modèle empirique. Il est calculé de façon itérative (la valeur du jour dépend de celle du jour précédent) à partir de paramètres météorologiques de base (température, humidité de l'air, vent, précipitations) intégrés dans cinq composantes intermédiaires qui décrivent la teneur en eau des combustibles et le comportement des incendies (cf. schéma).

Il est depuis utilisé dans le monde entier, dans des versions parfois adaptées, pour réaliser des prévisions de risque d'incendie. Météo-France utilise cet indice et ses composantes, combinés à d'autres indices développés localement, dans ses prévisions quotidiennes de danger d'incendie de forêt.

Les trois premières composantes traduisent la teneur en eau des combustibles en lien avec différentes couches du sol. De façon simplifiée pour une analyse opérationnelle telle qu'utilisée en France, L'ICL traduit la sécheresse superficielle en lien avec la teneur en eau de la litière et des herbacées et qui influe sur le risque d'éclosion (ou anciennement *propagation initiale*), l'IH traduit la sécheresse des premières couches du sol en lien avec la teneur en eau de la strate arbustive basse et qui influe sur le risque de propagation, et l'IS traduit la sécheresse des couches plus profondes du sol en lien avec la teneur en eau des strates arbustive haute et arborée et qui influe sur le risque de propagation de feux importants.



↑ Schéma de principe du calcul de l'Indice Forêt Météo



↑ Figure 1. Exemple de résultat de l'étude de 2010 : cartes de l'indice de sensibilité de la végétation aux incendies estivaux pour la période de référence (1989-2008) et aux horizons 2040 et 2060.

## Méthode 2021 pour la carte nationale de sensibilité de la végétation forestière

La partie « socle » de la nouvelle étude, réalisée en 2020-2021, consiste en l'élaboration d'une carte nationale de sensibilité de la végétation, destinée à être croisée avec des conditions climatiques.

À ce stade, comme en 2010, seuls les incendies estivaux sont pris en compte. En effet les connaissances actuelles encore partielles sur les feux hivernaux et les possibilités de cartographie des facteurs impliqués ne permettent pas de proposer immédiatement une modélisation fiable de ce phénomène à l'échelle nationale.

Les incendies estivaux concernent des formations forestières en saison de végétation. Leur sensibilité est fonction de la structure du peuplement, des essences présentes, mais aussi de la teneur en eau de la litière, des herbacées et majoritairement des parties fines et vivantes de la végétation arbustive et arborée (dont l'état d'hydratation dépend en grande partie des réserves en eau du sol). Cette sensibilité est donc modélisable en fonction du type de peuplement, de la station (en particulier de ses réserves en eau potentielles), et des conditions climatiques, facteurs eux-mêmes possibles à approcher à l'échelle de l'étude.

En premier lieu, il s'agit d'évaluer la **sensibilité potentielle** des formations végétales pour une sécheresse forte, c'est-à-dire pour des conditions de sécheresse théoriques uniformes équivalentes à celles rencontrées habituellement dans le moyen pays méditerranéen.

Ensuite, la prise en compte des conditions stationnelles repose sur l'hypothèse que cette sensibilité potentielle va s'exprimer de façon plus ou moins marquée en fonction de la réserve en eau des sols. Il en résulte une nouvelle notion baptisée **sensibilité brute**, indépendante des conditions climatiques par construction et qui ne s'exprime que si les formations sont effectivement exposées à une sécheresse forte.

La confrontation avec les conditions climatiques permet enfin d'obtenir une **sensibilité effective** de la végétation aux incendies estivaux. Plusieurs approches de ces conditions climatiques peuvent être utilisées, pour différents usages :

- application des conditions moyennes de sécheresse de la période de référence permettant d'obtenir l'indice de sensibilité effective actuelle ;
- recours aux simulations climatiques disponibles pour telle ou telle période future afin d'évaluer la sensibilité effective en tenant compte des effets du changement climatique ;
- croisement avec des prévisions quotidiennes d'indices météorologiques pour estimer une sensibilité effective opérationnelle, permettant de dimensionner d'éventuelles mesures de prévention ou les dispositifs de lutte.

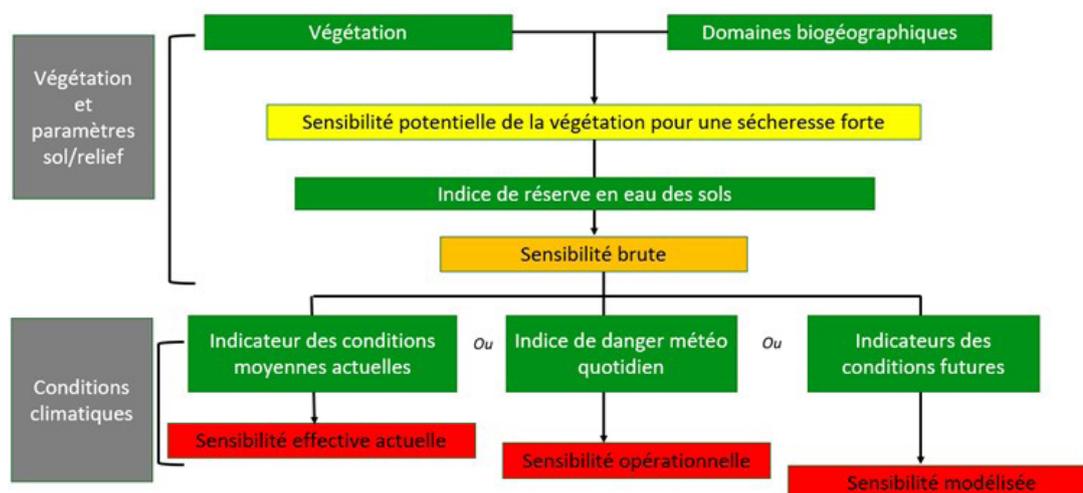
Les trois étapes de cette méthodologie peuvent être résumées par un schéma (Fig. 2) qui positionne les différentes notions de sensibilité décrites précédemment et donne le cadre général de l'exposé plus détaillé qui suit.

### La sensibilité potentielle

La première étape de la méthode repose par nécessité sur les hypothèses suivantes :

- la végétation reste telle qu'elle est actuellement ;
- sa sensibilité à une sécheresse théorique forte s'évalue à dire d'expert en se référant aux observations dans l'arrière-pays méditerranéen et sur quelques événements documentés hors méditerranée.

Le travail consiste à établir une carte de végétation sur toute la France métropolitaine puis à classer les différents peuplements forestiers en 5 niveaux de sensibilité potentielle aux incendies estivaux. Le domaine biogéographique est également considéré pour tenir compte des réalités différentes que recouvre une même appellation de type de végétation.



← Figure 2. Schéma récapitulatif de la méthodologie d'élaboration d'une carte nationale de sensibilité de la végétation forestière aux incendies, en 3 étapes. En vert, les données d'entrée ; en jaune, orange et rouge, la notion de sensibilité cartographiée par étape

## ■ Cartographie des types de végétation

Les données cartographiques sur la végétation à l'échelle nationale sont issues de diverses sources. La principale et la plus homogène est la BDForêt® V2 de l'IGN-IFN. Pour pouvoir préciser les noms des espèces, pas toujours identifiées, elle a été complétée par des données de la BD Forêt® V1 et des points d'inventaires de l'IGN-IFN.

Ces bases de l'IGN-IFN portent essentiellement sur les types forestiers, et sont parfois incomplètes ou imprécises sur les milieux ouverts (landes, garrigues, maquis, pelouses, friches...). Aussi, afin d'obtenir une couverture aussi complète que possible de la végétation, ces données initiales ont été enrichies en intégrant certains types provenant de la BD Topo® de l'IGN (2020) et des données provenant du Centre d'Expertise Scientifique « occupation des sols » du pôle Theia, une structure scientifique et technique groupant 11 institutions publiques impliquées dans l'observation de la terre : données (2018) issues entre autres de la classification d'images optiques multi-temporelles à haute résolution spatiale.

Ces données de végétation sont disponibles soit en format vectoriel (BD Forêt®, BD Topo®) soit en format raster (CES occupation des sols) ; pour faciliter les calculs et les croisements avec les autres facteurs, elles ont toutes été transformées en format raster, en pixels de 10 m sur 10 (format d'origine du CES).

Ce travail a permis par regroupements et compléments d'obtenir une quarantaine de types de végétation cartographiés sur l'ensemble du territoire.

## ■ Déclinaison par domaines biogéographiques et notation

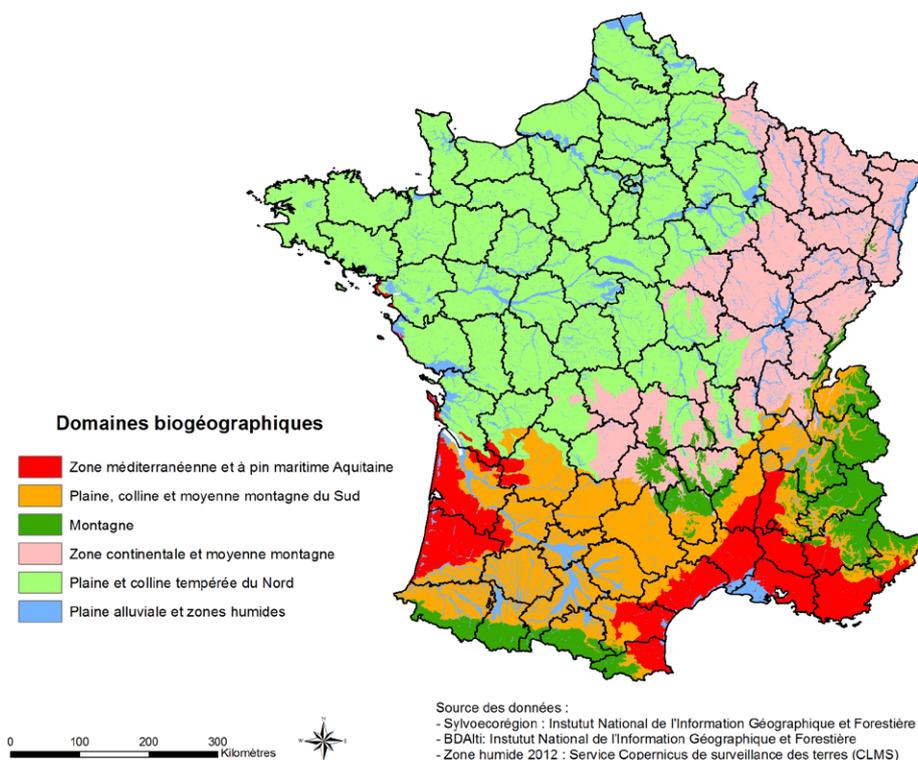
Un même type de végétation forestière n'a pas forcément le même faciès (structure de peuplement, nature des différentes strates...) selon sa localisation sur le territoire et donc pas forcément la même sensibilité. Afin de prendre en compte ces variabilités, il a donc été nécessaire de croiser le travail précédent avec une carte des domaines biogéographiques.

À partir des sylvoécotéorégions de l'IGN-IFN, qui prennent en compte les facteurs déterminant la production forestière et la répartition des grands types d'habitats forestiers, ont été créés 6 domaines biogéographiques représentés sur la carte ci-après (Fig. 3) :

- un domaine de montagne regroupant les sylvoécotéorégions « Alpes » et « Pyrénées » ainsi que les zones situées hors de ces massifs montagneux mais à plus de 1000 m d'altitude ;
- quatre domaines géographiques par regroupement de sylvoécotéorégions, pour leur partie située à moins de 1000 m d'altitude ;
- un domaine des zones alluviales et des zones humides, déterminé en utilisant des données mises à disposition par le service Copernicus (Programme européen d'observation de la Terre).

Ces données sont produites en format vectoriel avec une précision au 1/25 000. Les polygones ont été transformés en pixel de 10 m sur 10, mais la précision géographique reste celle du 1/25 000.

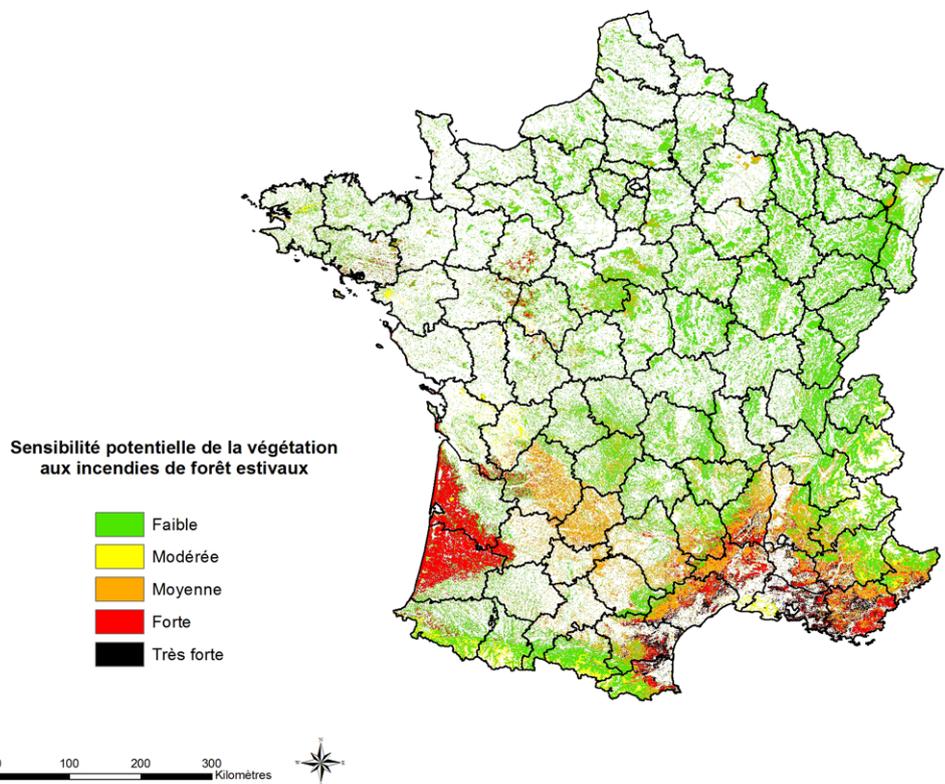
L'attribution du niveau de sensibilité potentielle se fait enfin, pour chaque type de peuplement, selon le domaine biogéographique (Tab. 1 et Fig. 4).



← **Figure 3.**  
Les domaines biogéographiques créés pour appréhender les différents faciès des types de végétation forestière.

Type de formation	Domaines biogéographiques				
	Zone méditerranéenne et à pin maritime Aquitaine	Plaine, colline et moyenne montagne du Sud	Plaine et colline tempérée du Nord	Zone continentale et moyenne montagne	Montagne, plaine alluviale et zones humides
Pin Alep	Très forte	Forte	Forte	Moyenne	Modérée
Landé ligneuse	Très forte	Forte	Moyenne	Moyenne	Modérée
Forêt ouverte	Très forte	Forte	Moyenne	Moyenne	Modérée
Pin maritime	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Modérée
Chêne vert	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Chêne liège	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Pin Parasol	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Forêt fermée sans couvert arboré	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Forêt ouverte conifères	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Forêt ouverte feuillus	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Forêt ouverte mixte	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Forêt ouverte sans couvert arboré	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Eucalyptus	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Arbousier	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée
Pin sylvestre	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Faible
Pin laricio, pin noir	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Modérée	Faible
Cèdre	Moyenne	Moyenne	Modérée	Modérée	Faible
Chêne pubescent, Chêne liège	Moyenne	Moyenne	Modérée	Modérée	Faible
Chêne pubescent, Chêne vert	Moyenne	Moyenne	Modérée	Modérée	Faible
Chêne pubescent	Moyenne	Moyenne	Modérée	Modérée	Faible
Chataignier	Moyenne	Moyenne	Modérée	Modérée	Faible
Landé herbacée	Moyenne	Moyenne	Modérée	Modérée	Faible
Chêne pubescent, Chataignier	Moyenne	Moyenne	Modérée	Modérée	Faible
Chêne pubescent, Hêtre	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Hêtre, Chataignier	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Douglas	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Meleze	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Pin à crochets, pin cembro	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Sapin, Epicéa	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Forêt fermée mixte	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Forêt fermée de conifères	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
Chêne rouvre - pédonculé	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Chêne-Hêtre	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Bouleau - Saule	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Charme-houblon	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Frêne - Erable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Robinier	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Hêtre	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Forêt fermée de feuillus	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Peupleraie	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Chêne rouvre - pédonculé, Chataignier	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

← **Tableau 1.** Indice de sensibilité potentielle des types de végétation décliné par domaine biogéographique.



← **Figure 4.** Carte de la sensibilité potentielle de la végétation aux incendies estivaux

## La sensibilité brute

La notion de sensibilité brute a pour objectif la prise en compte des facteurs qui favorisent le dessèchement des végétaux, en les intégrant dans un indice de réserve en eau du sol. Cet indice est un facteur majorant ou minorant qui part du principe que la sensibilité potentielle s'exprime plus ou moins fortement en fonction de la vitesse de dessèchement du sol.

### ■ Réserve utile maximale des sols forestiers

La réserve en eau utile des sols est une grandeur complexe à estimer et à cartographier car conditionnée par de nombreux paramètres comme la texture, la profondeur de prospection des racines, la charge en cailloux ou encore la densité apparente. À l'échelle nationale, il n'existe que quelques données disponibles à des échelles très variables.

Dans le cas présent, il a été choisi de l'approcher en utilisant la cartographie de réserve utile maximale des sols forestiers (RUM), produite en 2012 par l'UMR SILVA (AgroParisTech, INRAE, Université de Lorraine) en collaboration avec IGN.

Contrairement à la réserve en eau du sol (RU), qui représente l'eau réellement disponible dans le sol pour des conditions climatiques données, la RUM représente la quantité d'eau maximale que peut contenir le sol. Les données, notices et limites d'utilisation sont disponibles via la [plateforme SILVAE](#).

Ces données sont disponibles sur l'ensemble du territoire national par pixel de 500 mètres, ce qui leur donne une assez faible précision géographique, mais cela reste bien meilleur que les seules données géologiques au 1/1 000 000 utilisées dans l'étude de 2010. Pour les besoins des calculs, les pixels de 500 mètres ont été redécoupés en pixels de 10 mètres, sans interpolation.

Et pour des raisons opérationnelles, les données brutes ont été regroupées, à dire d'expert, en 3 classes :  
*Favorable* : réserve en eau maximale (RUM) favorable, permettant une bonne alimentation en eau de la plante et limitant son dessèchement estival.  
*Moyenne* : RUM « neutre » au niveau du dessèchement de la végétation.  
*Défavorable* : RUM faible, accélérant le dessèchement de la végétation.

### ■ L'ensoleillement facteur d'assèchement

L'ensoleillement, aussi appelé insolation, est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée.

En un lieu donné, il dépend de nombreux paramètres : coordonnées géographiques (qui influent sur les heures de lever et de coucher du soleil), effets topographiques (ombrage des reliefs proche et lointain), phénomènes météorologiques (nuages, brouillard).

À ce stade, les paramètres météorologiques ne sont pas pris en compte et les calculs sont faits sur une durée donnée (dans notre cas sur l'année complète) pour un temps clair permanent, ce qui conduit à un calcul d'ensoleillement maximal.

Pour la prise en compte des reliefs et altitudes, ce sont les données du modèle numérique de terrain (MNT) de l'IGN au pas de 50 m qui ont été utilisées pour les calculs. Le résultat brut est donc une cartographie en classes d'ensoleillement maximal, par pixels de 50 mètres, redécoupés en pixels de 10 mètres sans interpolation.

Là encore, les résultats ont été groupés en 3 classes. Les zones de fort ensoleillement subissent un plus fort dessèchement que les autres et la classe qui les réunit a été qualifiée de « favorable au dessèchement » ; à l'opposé, la classe des faibles valeurs d'ensoleillement a été qualifiée de « favorable à la conservation de l'eau ». Quant à la classe intermédiaire, elle est dite « neutre »

Noter que l'utilisation du MNT de l'IGN au pas de 50 mètres ne permet pas de distinguer les microreliefs locaux, et de ce fait, les zones de faible et fort ensoleillement apparaissent principalement dans les massifs montagneux.

### ■ Croisements : l'indice de réserve en eau des sols et la sensibilité brute

L'indice de réserve en eau des sols résulte de la combinaison des classes de réserve utile maximale et des classes d'ensoleillement maximal et s'exprime lui-même en trois niveaux : favorable, neutre ou défavorable (Tab. 2). Croisé ensuite avec la sensibilité potentielle, il applique une modulation atténuante, neutre ou aggravante dont découlent les 5 classes de sensibilité brute de la végétation forestière aux incendies (Tab. 3) (Fig. 5).

INDICE DE RÉSERVE EN EAU DES SOLS			
Réserve utile maximale des sols forestiers (RUM)	Ensoleillement		
	Favorable à la conservation en eau	Neutre	Favorable au dessèchement
Favorable	Favorable	Favorable	Neutre
Moyenne	Neutre	Neutre	Défavorable
Défavorable	Neutre	Défavorable	Défavorable

↑ **Tableau 2.** Détermination de l'indice de réserve en eau des sols, d'après les classes de RUM et d'ensoleillement.

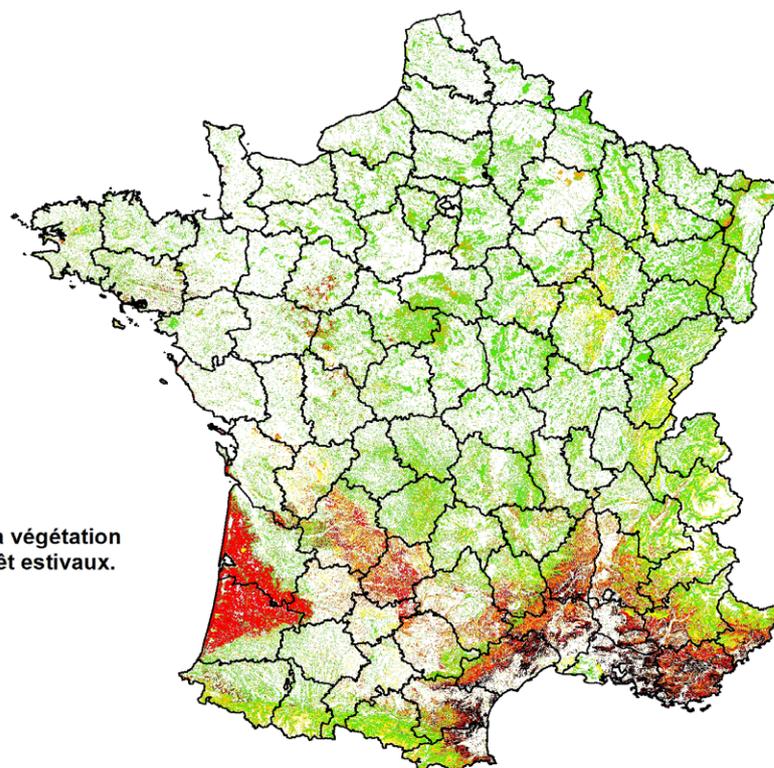
INDICE DE SENSIBILITÉ BRUTE DE LA VÉGÉTATION AUX INCENDIES DE FORÊT ESTIVAUX			
Indice de sensibilité potentielle de la végétation aux incendies de forêt estivaux	Indice de réserve en eau des sols		
	Favorable	Neutre	Défavorable
Faible	Faible	Faible	Modérée
Modérée	Faible	Modérée	Moyenne
Moyenne	Modérée	Moyenne	Forte
Forte	Moyenne	Forte	Très forte
Très forte	Forte	Très forte	Très forte

↑ **Tableau 3.** L'indice de sensibilité brute résulte d'une modulation de la sensibilité potentielle par l'indice de réserve en eau des sols.



© John Bersi

↑ Forêt de pin d'Alep en zone méditerranéenne sur sol aride : sensibilité brute forte à très forte.



← **Figure 5.** Carte de la sensibilité brute de la végétation aux incendies estivaux

Sensibilité brute de la végétation aux incendies de forêt estivaux.



0 100 200 300 Kilomètres



## Regroupements géographiques : sensibilité brute par massif

Le résultat des étapes précédentes est produit en pixels de 10 m mais les incertitudes décrites au fur et à mesure sur la précision de la donnée conduisent à recommander une utilisation de la valeur obtenue au pixel avec la plus grande prudence. Ce travail, valable pour une approche homogène à l'échelle de la France entière, n'est certainement plus valable si on zoome à l'échelle de la parcelle.

Aussi pour une approche plus globale il est pertinent synthétiser cette donnée selon des entités géographiques de petite à moyenne taille, par exemple par régions IFN, massifs ou forêts. Les cartes des petites régions IFN ou des forêts relevant du régime forestier existent déjà, mais une carte des massifs a été créée spécifiquement pour cette étude (selon une approche uniquement cartographique).

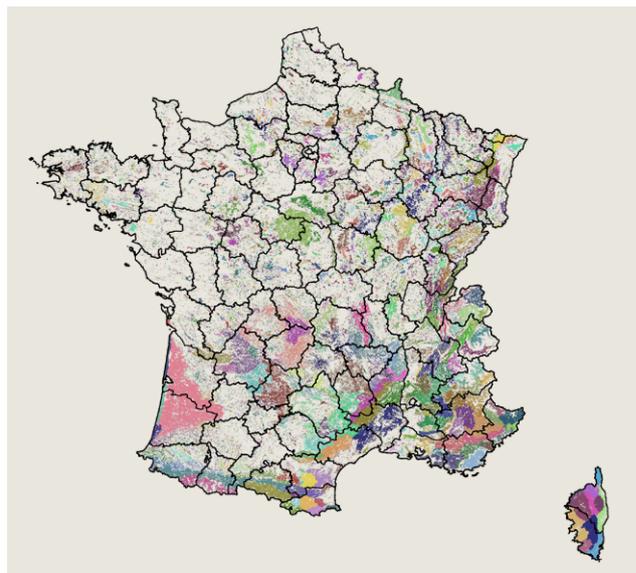
Les massifs forestiers ont été définis à partir de la cartographie des types de végétation nationale initialement créée. De cette donnée sont conservées les formations forestières et les landes et sont éliminés l'eau, le minéral, les formations agricoles, les pelouses, les haies... Les entités de moins de 4 ha sont mises de côté et on regroupe celles qui restent et qui se situent à moins de 100 m les unes des autres. De ces regroupements, ne sont conservés que ceux qui ont une surface de plus de 20 ha, auxquels on raccroche les entités de moins de 4ha se trouvant à moins de 100 m.

Enfin pour éviter d'avoir d'immenses entités d'un seul tenant, les massifs de plus de 100 000 ha sont redécoupés selon les petites régions forestières de l'IFN

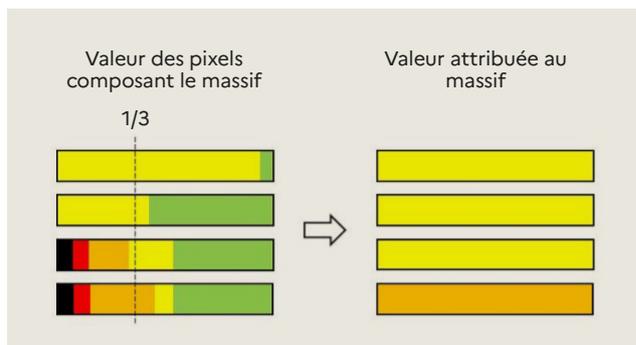
Les massifs ainsi définis dans cette étude sont donc des regroupements d'entités de végétation situées à moins de 100m les unes des autres faisant ensemble au moins 20 ha, et situées à plus de 100 m d'un autre massif défini de la même façon (Fig. 6).

L'objectif de ces regroupements est de **mettre en évidence le risque dominant** au sein de l'entité regroupée, en veillant à identifier les entités les plus sensibles aux incendies estivaux. Le calcul de moyenne a tendance à effacer les valeurs les plus hautes et les plus basses, et ne peut donc pas satisfaire à cet objectif. Une possibilité serait de retenir pour l'entité la valeur de sensibilité la plus représentée ; mais on sait d'expérience qu'il s'agit souvent, au moins dans les espaces moyennement sensibles aux incendies, d'une des valeurs les plus basses. Cette possibilité a donc aussi été écartée.

Le choix retenu prend empiriquement pour hypothèse qu'un massif forestier se comporte globalement vis-à-vis des incendies comme le tiers de sa surface la plus sensible. Pour chaque entité (région IFN, massif ou forêt), le niveau de sensibilité qui lui est affecté est donc celui qui est égalé ou dépassé sur au moins 1/3 de sa surface (cf. schéma de principe Fig. 7).



↑ **Figure 6.** Carte des massifs forestiers constitués pour une approche pertinente de la sensibilité de la végétation forestière.



↑ **Figure 7.** Principe de l'attribution du niveau de sensibilité à un massif forestier : c'est le niveau qui est égalé ou dépassé sur 1/3 de la surface.

## Sensibilité effective : premières évaluations

Une fois la sensibilité brute théorique définie, on prend l'hypothèse qu'elle ne s'exprime géographiquement et temporellement que lors des fortes sécheresses. Pour cela il faut la croiser avec des données météorologiques. Plusieurs approches sont possibles, à des échelles de temps différentes selon l'objectif qu'on poursuit. Deux premières utilisations sont décrites ci-après, l'une répondant à une approche globale pour une période donnée, et l'autre à des besoins d'évaluation quotidienne.

### ■ Sensibilité effective actuelle à l'échelle nationale

La première utilisation consiste à définir une sensibilité correspondant aux conditions climatiques moyennes observées sur une période de référence. Cette approche statistique permet de comparer les territoires entre eux en leur affectant une sensibilité la plus probable, mais ne traduit pas forcément le risque exceptionnel (au sens statistique du terme) d'avoir une année ou une courte période avec une sensibilité plus élevée.

Pour définir ces conditions moyennes, en attendant les résultats de travaux plus détaillés en cours de réalisation par Météo-France, un indicateur a été retenu : le nombre de jours sur la période référence de 30 ans au cours desquels la composante IS de l'IFM (cf. encadré p. 13) est supérieure à 700. Cette valeur représente empiriquement le début du niveau de sécheresse très forte (seuil issu de l'analyse des feux significatifs estivaux en région méditerranéenne).

Cet indicateur est réparti comme suit en 3 classes, le niveau de la classe 3 ayant été déterminé de façon à bien discriminer zone méditerranéenne (Fig. 8) :

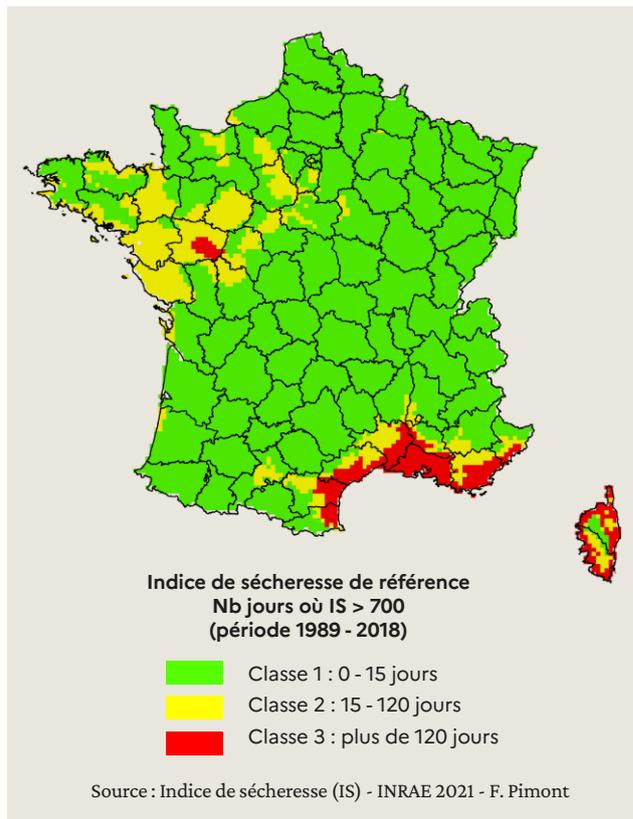
**Classe 1** : moins de 15 jours sur la période soit moins d'un jour tous les 2 ans ; probabilité très faible d'avoir une période de sécheresse très forte

**Classe 2** : 15 à 120 jours sur la période soit entre un jour tous les 2 ans et 4 jours par an

**Classe 3** : plus de 120 jours par an sur la période soit plus de 4 jours par an en moyenne ; probabilité importante d'avoir quelques jours de sécheresse très forte chaque année mais aussi d'avoir des périodes assez longues sur certaines années

Pour mémoire d'autres indicateurs ont été testés : Bilan Hydrique Climatique (donnée développée par le réseau R&D de l'ONF) ou indicateur de fréquence d'IFM moyen sur la saison dépassant un certain seuil utilisé dans l'étude de 2010, mais les tests ont été moins concluants car permettant moins de discriminer les territoires.

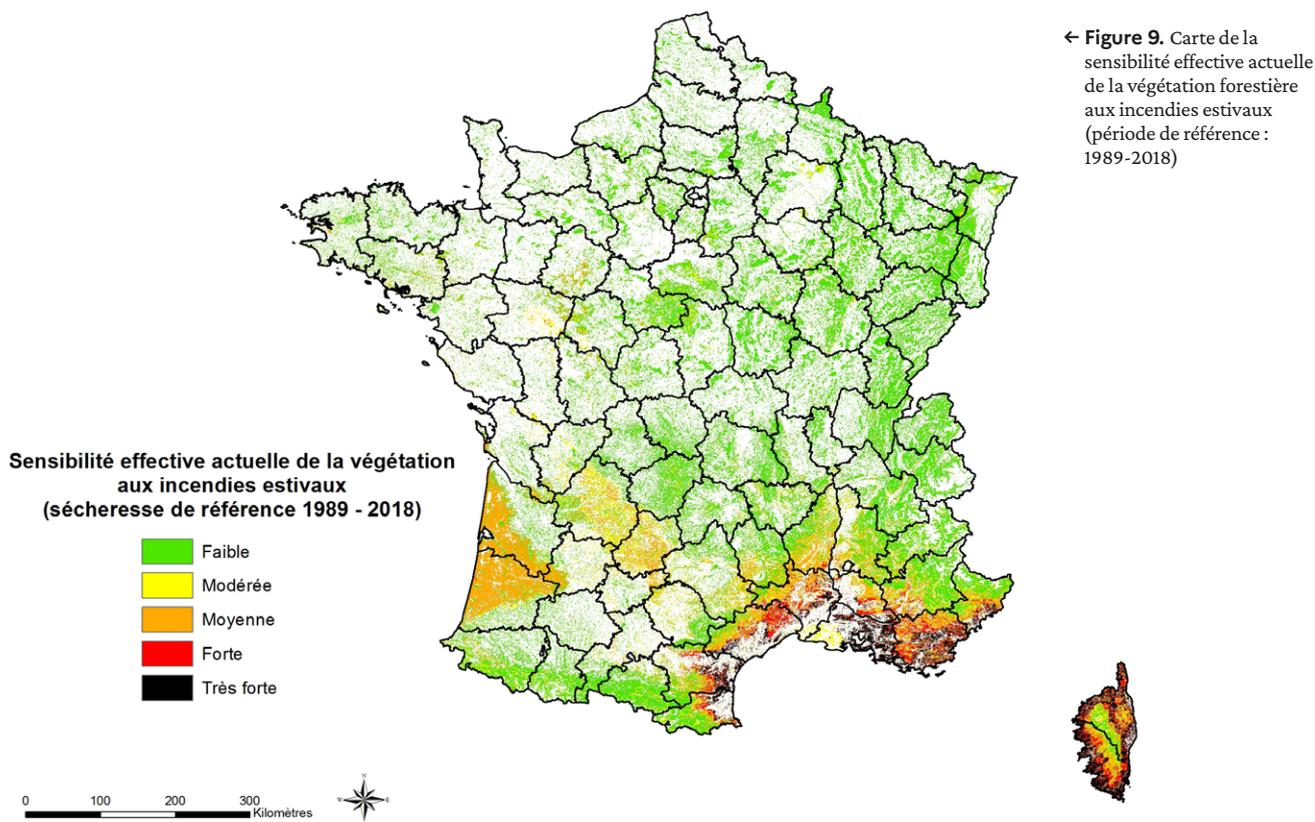
La sensibilité effective pour la période de référence 1989-2018 est ensuite définie en croisant les 3 classes de notre indicateur de sécheresse avec la sensibilité brute de la végétation forestière aux incendies estivaux (Tab. 4) (Fig. 9).



↑ **Figure 8.** Carte de l'indice de sécheresse de référence (= nombre de jours où IS > 700 sur la période 1989-2018).

INDICE DE SENSIBILITÉ DE LA VÉGÉTATION AUX INCENDIES ESTIVAUX AUX CONDITIONS DE SÉCHERESSE DE RÉFÉRENCE (1989 - 2018)			
Indice de sensibilité brute de la végétation aux incendies de forêt estivaux	Indice de sécheresse de référence (Nombre de jours d'IS > 700 sur la période 1989 - 2018)		
	Classe 1 (0 - 15 jours)	Classe 2 (15 - 120 jours)	Classe 3 (plus de 120 jours)
Faible	Faible	Faible	Modérée
Modérée	Faible	Modérée	Modérée
Moyenne	Modérée	Moyenne	Moyenne
Forte	Moyenne	Moyenne	Forte
Très forte	Moyenne	Forte	Très forte

↑ **Tableau 4.** Détermination de la sensibilité effective actuelle de la végétation forestière aux incendies estivaux, d'après la sensibilité brute et l'indice de sécheresse de référence.

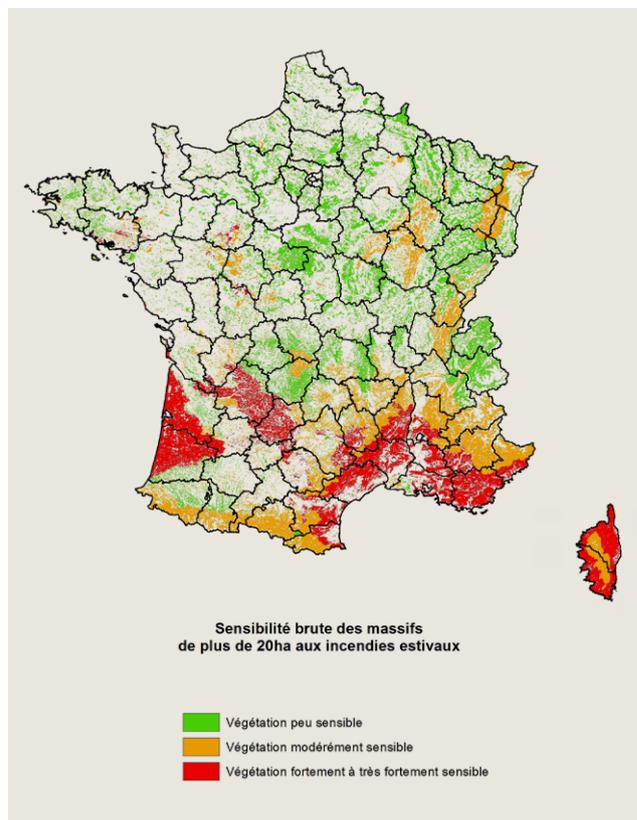


← **Figure 9.** Carte de la sensibilité effective actuelle de la végétation forestière aux incendies estivaux (période de référence : 1989-2018)

## Veille du risque quotidien

Une autre utilisation possible dès à présent consiste à avoir une approche quotidienne des conditions météorologiques dans le cadre d'une prévision du risque.

La carte de sensibilité brute a été établie en version regroupée par massif (ou par forêt relevant du régime forestier) et simplifiée en 3 classes au lieu de 5, pour des besoins de facilité de lecture opérationnelle, à l'intention des membres du réseau de référents DFCI hors méditerranée. Elle leur sert à analyser localement le risque quotidien, notamment pour décider la mise en œuvre de mesures de prévention adaptées. Le principe, décrit dans une fiche réflexe mise à disposition des référents, consiste à croiser cette carte (Fig. 10) avec celle de l'indice de « danger intégré » produite quotidiennement et automatiquement à l'échelle nationale par Météo-France. Cela permet, quand le danger météorologique est élevé, de cibler certaines mesures contraignantes sur les massifs ou les forêts identifiés à risque. Ce croisement est actuellement fait de façon visuelle mais il est prévu à court terme une transmission par Météo-France de données géoréférencées afin de le réaliser par SIG.



↑ **Figure 10.** Sensibilité brute aux incendies estivaux par massif, simplifiée en 3 classes, à croiser avec l'indice de danger de Météo France pour la veille du risque au quotidien

## Incertitudes - Limitation d'usage

Malgré des progrès importants dans les connaissances au cours de la décennie écoulée, de nombreux facteurs sont encore mal estimés, ou à minima répartis en classes de manière empirique, à dire d'expert. Cela introduit des marges d'incertitudes qui peuvent conduire pour la plupart des facteurs à des écarts possibles d'une classe par rapport aux valeurs retenues. C'est en particulier le cas pour l'évaluation de l'indice de sensibilité potentielle de la végétation : malgré la déclinaison dans 5 domaines biogéographiques, des incertitudes persistent pour certaines formations végétales.

D'autre part, pour les facteurs qui mettent en jeu la qualité des sols et/ou la topographie, la précision géographique est relativement faible, et de ce fait des écarts sont possibles, en particulier sur les bordures des pixels de base (avant redécoupage à 10 m).

En conclusion, le choix de procéder aux calculs par pixel de 10 mètres a été guidé par le souci d'une transcription géographique « lisible » et cohérente avec les limites physiques ; mais il conduit dans le résultat final à un risque d'écart sur le pixel : écart d'une classe (sur 5 classes) difficile à quantifier mais certainement conséquent (probablement de l'ordre de 20 à 25% des pixels), voire de 2 classes dans une minorité de cas (probablement moins de 5%), cumulé à de possibles écarts géographiques.

Cela signifie que ces résultats par pixels de 10 mètres ne peuvent être utilisés directement et appliqués sur le terrain à l'échelle de la parcelle. On doit donc les considérer comme des tendances, dont seuls les regroupements par entités beaucoup plus vastes sont pertinents (au moins 20 à 25 hectares, avec un degré de confiance fort au-delà de 100 hectares).

## Les travaux qui restent à poursuivre

Les résultats des travaux présentés dans cet article sont déjà opérationnels mais ne répondent pas à tous les besoins d'amélioration identifiés lors de l'étude de 2010. D'autres travaux sont en cours ou à venir.

### ■ Cartographie de la sensibilité aux feux d'hiver et printemps

Comme indiqué précédemment, l'approche actuelle ne concerne que les feux d'été. Cependant la problématique des feux hors saison estivale devient aussi prégnante et nécessite d'être abordée. Même si les connaissances actuelles ne permettent pas forcément d'avoir une approche aussi fiable que pour les feux estivaux, il serait utile de produire une carte de sensibilité pour ces feux, en faisant certainement des hypothèses réductrices et des approximations, et en espérant pouvoir l'améliorer dans le futur comme c'est le cas actuellement avec l'étude de 2010.

Même si une partie des peuplements identifiés comme sensibles en été peuvent l'être aussi en hiver (peuplements ouverts, certains résineux), il est nécessaire de revoir le classement de certains autres. La problématique est d'identifier la nature du sous-bois, qui est souvent déterminant dans le comportement des feux hors saison estivale, afin de faire ressortir les formations sensibles (fougères, bruyères, ajonc, molinie, litières épaisses). Une piste est à l'étude en lien avec l'IGN-IFN pour une approche statistique à partir des données placettes d'inventaire.

Ainsi la sensibilité brute « printemps-hiver » pourrait être croisée avec des indices de sécheresse spécifiques, différents de ceux utilisés en été, pour définir une sensibilité effective « hors saison estivale ».

### ■ Prise en compte des risques de dépérissement

L'hypothèse selon laquelle la végétation actuelle reste en place est réductrice et mérite une approche différente. S'il est difficile de prévoir d'éventuels changements de végétation, une approche possible serait la prise en compte des risques de dépérissement de façon statistique et probabiliste à partir des cartes de compatibilité climatique de l'application [ClimEssences](#). L'hypothèse serait alors que les peuplements associés à une essence et situés dans une zone où cette essence ne serait plus compatible pourraient être, avec une certaine probabilité, exposés à des dépérissements.

Ceci amènerait à une mortalité partielle modifiant la structure du peuplement et créerait plus de milieux ouverts avec un sous-étage potentiellement à risque plus développé, majorant la sensibilité brute. Cependant il sera nécessaire de confronter cette hypothèse avec les travaux sur l'adaptation de la gestion forestière au changement climatique de façon à s'assurer que des choix de gestion ne risqueraient pas de conduire à un effet différent de celui envisagé.

### ■ Choix des indices météorologiques et modélisations futures

L'Etat a confié à Météo France le calcul de nombreux indices et statistiques : indices traduisant le comportement de la végétation morte (feux de printemps ou hiver et feux de récolte en été) ou vivante (feux estivaux), analyse sur l'année entière ou selon les saisons, moyennes d'indices sur une période ou nombre de jours de dépassements de seuils...

- en utilisant plusieurs modèles de prévision afin de fiabiliser les projections,
- pour 3 scénarios GIEC (optimiste/pessimiste/médian),
- pour une période de référence actuelle ainsi que pour 3 horizons définis sur des périodes de 30 ans donc statistiquement plus fiables que les périodes de 20 ans utilisées dans l'étude de 2010 : proche (2021-2050), moyen (2041-2070) et lointain (2071-2100).

Les résultats de ces calculs devraient être disponibles à l'automne 2022. Les experts de l'agence DFCI de l'ONF participeront ensuite au choix des indices et seuils les plus pertinents à retenir. Ces derniers seront alors recroisés avec la sensibilité brute afin de réviser la carte de sensibilité effective actuelle et de produire des cartes de sensibilité modélisée pour les différents scénarios et horizons.

À noter qu'INRAE est impliqué aux côtés de Météo-France et de l'ONF dans cette étude interservices. INRAE a construit un modèle probabiliste à partir des statistiques historiques des feux, qui intègre des facteurs structurels (liés généralement à l'occupation du sol) et des facteurs conjoncturels (liés à la météorologie). Il permet de définir en chaque point du territoire la probabilité d'occurrence d'un feu de plus d'un hectare ou la probabilité qu'un de ces feux dépasse un certain seuil de surface. Ce modèle sera utilisé pour aider à caler de façon objective les indicateurs à retenir et la définition des classes.

## Conclusion

Pour travailler de façon homogène à l'échelle nationale, cette étude même améliorée par rapport à celle de 2010 a encore dû se baser sur un certain nombre d'hypothèses et d'approximations, souvent réductrices par rapport à une réalité beaucoup plus complexe. Ce travail permet déjà un certain nombre d'applications, mais présente encore des limites et des possibilités d'amélioration (dont certaines sont déjà identifiées).

Cette étude ne permet pas d'utiliser les résultats obtenus pour une analyse ponctuelle mais des travaux locaux plus approfondis peuvent s'en inspirer, avec l'aide méthodologique éventuelle des experts de l'agence DFCI.

Enfin les données sont disponibles en interne (en visualisation dans le webserveur « veille incendie » utilisé par les référents DFCI ou en format SIG auprès de l'agence DFCI) et ont été remises au ministère de l'agriculture qui en a financé la production dans le cadre de la MIG DFCI et qui en a assuré la diffusion auprès de DDT(M) via les DRAAF.

**Rémi Savazzi<sup>(1)</sup>, Jean-Luc Kicin<sup>(2)</sup>, Benoît Reymond<sup>(3)</sup>**

1. ONF, expert national incendie, adjoint au directeur agence DFCI Midi-Méditerranée
2. ONF, agence DFCI Midi-Méditerranée, pôle DFCI Midi-Pyrénées
3. ONF, agence DFCI Midi-Méditerranée, pôle appui technique et SI

## RÉFÉRENCES

• Chatry C., Le Quentrec M., Laurens D., Le Gallou J.Y., Lafitte J.J., Creuchet B., Grelu J., 2010. Rapport de la mission interministérielle Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts. Paris : CGEDD/CGAER/IGF. 190 p.  
<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/104000494/index.shtml>

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Yvon Duché, responsable de l'étude de 2010 et initiateur de celle-ci avant son départ en retraite, depuis laquelle il a encore pu donner quelques précieux avis. Nous remercions également les collègues de la direction et du Pôle Innovation, Appui Technique et Systèmes d'Information de l'agence DFCI pour leurs appuis, avis et contributions. Merci enfin aux partenaires d'INRAE (notamment François Pimont) et de Météo-France (notamment Mathieu Regimbeau) pour leur collaboration, ainsi qu'au ministère de l'Agriculture pour qui et avec lequel ces travaux ont été conduits.



# La gestion du risque incendie dans le massif de Fontainebleau

**Si la moitié nord de la France est globalement un territoire où le risque d'incendie de forêt est émergent, certains massifs comme Fontainebleau y sont confrontés depuis longtemps et sont autant de références possibles pour l'acculturation mutuelle des membres du réseau DFCI.**

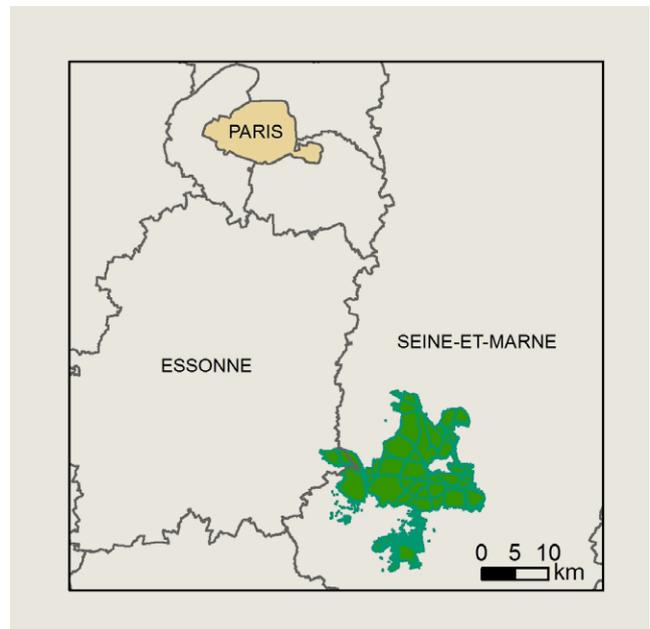
Le massif de Fontainebleau au sens large (forêts domaniales de Fontainebleau, Trois-Pignons, La Commanderie) couvre près de 23 000 hectares. Située à une heure au sud de Paris, cette forêt, notamment connue pour ses paysages originaux à base de rochers de grès associés à un sable très blanc et très fin constitue un des espaces naturels les plus visités de France (près de 15 millions de visites par an) et un des hauts lieux mondiaux de l'escalade.

C'est aussi un massif historiquement touché par les incendies, où se forge progressivement une solide expérience de gestion du risque.

## Un massif forestier très sensible aux incendies

Le massif forestier de Fontainebleau est installé en grande partie sur un substrat sableux sur lequel est implanté un cortège d'espèces particulièrement inflammables (fougère aigle, callune, molinie, pins sylvestres). De plus, la présence d'une litière souvent épaisse génère des feux de sols qui peuvent persister plusieurs jours après l'extinction du foyer principal et déclencher de nouveaux départs de feux.

Grace aux archives très précises tenues à jour depuis 1863 on sait que les surfaces parcourues annuellement ont commencé à augmenter au début du XX<sup>e</sup> siècle, en lien avec une fréquentation croissante du public. En 1903 l'aménagiste écrivait ainsi que ce nombre important d'incendies « paraît en grande partie imputable au développement pris ces derniers temps par le cyclisme et l'automobilisme qui déversent chaque année dans la forêt un nombre croissant de visiteurs ». Le cumul de ces incendies pouvait alors régulièrement dépasser plusieurs centaines d'hectares par an (exemple en 1921 avec 44 départs de feux pour 762 hectares brûlés). C'est à cette époque que les premiers pylônes d'observation furent installés dans le massif. Ceux-ci étaient encore utilisés par les équipes de l'ONF au début des années 2000, cependant l'essor de l'usage des téléphones portables les a rapidement rendus obsolètes, l'alerte étant souvent donnée directement par les nombreux usagers de la forêt.



↑ Carte de localisation du massif de Fontainebleau

À l'heure actuelle, si on compte toujours plusieurs dizaines de départs de feux chaque année, les surfaces brûlées ont fortement baissé et dépassent rarement 10 hectares par an. Ce résultat est évidemment lié à la rapidité des alertes associée à la grande réactivité des pompiers du secteur qui sont particulièrement formés à lutter contre les incendies de forêt. Néanmoins, le danger reste bien réel et pourrait rapidement s'accroître au vu des conséquences des épisodes de sécheresses répétés sur certains peuplements, notamment de pins sylvestres déjà fragiles. Une première grosse alerte a déjà eu lieu en 2019, avec une mortalité massive et rapide dans de nombreux peuplements de cette essence qui représente 32% du volume sur pied dans la forêt. Plusieurs dizaines d'hectares de pins secs ont ainsi dû être récoltés dans les mois suivant cet épisode afin de limiter la quantité de biomasse inflammable à proximité de sites d'accueil et de valoriser des bois dont la qualité se dégradait rapidement.



↑ Feu en cours, forêt de Fontainebleau

© ONF Fontainebleau

## Les actions de l'ONF vis-à-vis du risque incendie à Fontainebleau

En premier lieu l'agence territoriale Ile-de-France-Est se mobilise dans le domaine de la prévention via des **informations régulières aux usagers** en forêt, sur le terrain mais également sur les réseaux sociaux. En effet, l'agence a créé depuis plusieurs années un groupe Facebook « Forêt de Fontainebleau », fort de près de 9 000 membres sur lequel notre chargé de communication peut s'appuyer pour transmettre les informations notamment en cas de niveau élevé de danger d'incendie.

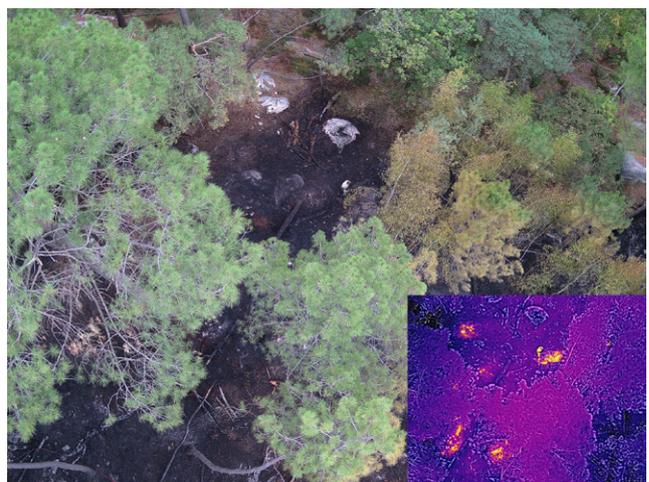
Par ailleurs, les personnels de l'Unité Territoriale de Fontainebleau assurent de nombreuses **patrouilles dédiées d'avril à novembre**. Ils sont assistés dans cette mission par un **drone à caméra thermique** acquis dans le cadre d'un mécénat qui permet de détecter rapidement les points chauds en forêt, notamment les feux de bivouacs, souvent à l'origine des incendies sur ce massif. Cinq télépilotes de drones ont été formés à cet effet au sein de l'agence territoriale. Cet outil vient également en appui des services de lutte en facilitant l'identification des feux qui couvent dans le sol après l'extinction du foyer principal.

**Adapter les infrastructures** du massif pour la DFCI constitue un autre axe d'intervention dans la gestion du risque. Cinq citernes de 30 m<sup>3</sup> ont ainsi été installées ces dernières années grâce à des financements régionaux et départementaux afin de faciliter l'intervention des pompiers dans les secteurs les plus sensibles. Des mises au gabarit de voirie forestière sont également réalisées afin d'ouvrir des voies d'accès pour les engins de lutte. Une convention dont l'ONF est à l'initiative permet également d'alimenter les camions citernes au niveau de plusieurs points de piquage de l'aqueduc qui traverse la forêt domaniale et alimente la ville de Paris en eau potable.



↑ Drone à caméra thermique

© ONF Fontainebleau



↑ Détection des points chauds par drone avec caméra thermique

© ONF Fontainebleau



© ONF Fontainebleau

↑ Journée technique SDIS Seine-et-Marne et ONF

Enfin, il faut noter que l'agence territoriale IDF-EST a mis en place de longue date un **partenariat étroit avec le SDIS de Seine-et-Marne**. Des journées techniques sont ainsi organisées chaque année afin de permettre aux personnels des deux structures d'appréhender au mieux les missions de chacun. De plus, des personnels de l'ONF participent régulièrement aux exercices réalisés par le SDIS dans le massif. Un atlas cartographique de la forêt décrivant la voirie accessible aux différents véhicules d'intervention a également été créé en concertation permettant au Commandant des Opérations de Secours d'organiser au mieux les interventions.

L'agence territoriale cherche désormais à mettre en place un fonctionnement similaire avec le SDIS de l'Essonne afin d'améliorer la prévention et l'efficacité des interventions en forêt domaniale de Sénart, massif péri-urbain de 3200 ha situé à une trentaine de kilomètres au Nord Nord-Est de Fontainebleau et également très sensible aux incendies (46 hectares brûlés en 2018).

## La mise en place du réseau de référents DFCI

Si l'agence territoriale IDF-Est est sans doute un cas un peu à part au vu de son historique en matière de DFCI par rapport à d'autres agences de la moitié nord de la France, la mise en place du réseau de référents, bien que très récente, est déjà positive à plusieurs titres.

Outre les alertes que l'agence DFCI diffuse directement en période sensible, les référents en direction territoriale et en agence territoriale sont maintenant habilités à accéder au site national feux de forêts de Météo-France. Formés à cet exercice depuis 2020, ils peuvent désormais assurer une mission de veille et proposer des mesures de limitation du risque. Ils ont à leur disposition une fiche réflexe, préparée

par l'agence DFCI, qui précise les mesures de prévention à prendre en situation de veille incendie. Ses recommandations ont déjà été mises en place à plusieurs reprises dans notre agence et plus largement dans la direction territoriale Seine-Nord, en particulier sur la question des accès ou des restrictions de certaines activités (travaux, manifestations) en cas de risque sévère.

Ce réseau permet par ailleurs aux référents de bénéficier de l'assistance de l'agence DFCI sur le plan technique ou réglementaire. En effet, les sollicitations en interne ou en externe sur la question des feux de forêts sont nombreuses et il est important de pouvoir s'appuyer sur les compétences de spécialistes dans ce domaine.

Le fonctionnement en réseau permet enfin de faciliter les échanges avec les autres référents et de partager les expériences et les savoir-faire. En direction territoriale Seine-Nord, territoire densément peuplé où les dépôts de feux sont nombreux, la mise en place du réseau a permis de renforcer une dynamique déjà présente dans certains secteurs. La plupart des agences ont notamment développé leur coopération avec les SDIS ces dernières années. Des conventions de partage de données sont mises en place et des atlas cartographiques sont élaborés pour les massifs les plus sensibles. Par ailleurs, plusieurs référents interviennent désormais dans les formations Feux de Forêts (FDF) destinées aux pompiers.

Au vu de l'évolution croissante du risque de feux de forêts dans un futur proche y compris dans des secteurs jusqu'ici relativement épargnés, la montée en compétence des personnels en matière de DFCI via la mise en place de ce réseau est primordiale et permettra sans doute à l'ONF de mieux répondre à cet enjeu majeur pour nos massifs forestiers.

**Matthieu Augery**

ONF, Agence Ile-de-France Est, Service forêt



# Préparer les ressources génétiques de demain : concevoir de nouveaux vergers à graines

**C'est désormais une certitude : les effets des changements globaux et les enjeux d'adaptation des forêts multiplient les situations où le renouvellement par plantation s'impose. Ce qui implique de résoudre en amont la question de l'approvisionnement en graines pour obtenir les plants nécessaires (essences et quantités) en temps voulu. Or ça ne s'improvise pas : c'est toute une stratégie à mettre en place en dépit des incertitudes, et les vergers à graines sont un élément fondamental de cette stratégie. Explications détaillées.**

Ces dernières années, la forêt française présente de nombreux stigmates de dépérissements induits directement ou indirectement par les changements climatiques. Dans ce contexte, et notamment pour préparer nos futures ressources en éco-matériau bois, le renouvellement des forêts doit maintenant être analysé en prenant en considération ces évolutions du climat, que l'on ne peut d'ailleurs appréhender qu'avec incertitude. C'est pourquoi, en complément de la régénération naturelle, la plantation est l'une des options retenues en forêt de production dans plusieurs situations :

- lorsque les essences ou les provenances en place subissent déjà localement de graves dépérissements (épicéas, frênes, sapin pectiné...),
- lorsque l'ensemencement naturel n'est pas suffisamment abondant,
- si la qualité des semenciers est jugée médiocre (défauts héréditaires) ou lorsqu'ils sont trop peu nombreux (base génétique réduite).

Pour répondre à ces besoins en reboisement, le plan France relance a consacré fin 2021 des fonds pour la forêt française avec un objectif de plantation additionnelle de 45 000 hectares afin de reconstituer des peuplements victimes de dépérissements ou mal adaptés, ce qui correspond à environ 50 millions de jeunes arbres (soit quasiment autant que de plants forestiers utilisés en France sur la saison 2019/2020). Or, l'atteinte de cet objectif est directement conditionnée par l'approvisionnement de la filière forêt-bois en matériels forestiers de reproduction (MFR), c'est-à-dire en plants forestiers, éduqués en pépinière à partir de semences préalablement collectées dans des peuplements sélectionnés ou dans des vergers à graines.

La qualité des MFR utilisés doit combiner la performance par la sélection génétique dans un objectif de valorisation des forêts, ainsi que la diversité grâce à la déclinaison de la

gamme des provenances ou des variétés proposées pour chaque espèce, dans un souci d'adaptation aux contextes pédoclimatiques variés des sites à planter, actuels et futurs. Les variétés forestières améliorées, issues de vergers à graines (à l'exception des plants produits par bouturage de type peuplier ou eucalyptus), tentent de répondre à ces exigences. Elles représentent aujourd'hui 80 % des plants forestiers produits en France mais seulement 17 espèces sont concernées.

Compte-tenu des irrégularités des fructifications et du caractère périssable des productions de MFR, l'anticipation des besoins en plants de la filière est primordiale car elle guide le dimensionnement des récoltes de graines et des semis en pépinière. Elle permet également de calibrer l'installation des vergers à graines, qui contribuent largement à la sécurisation de l'approvisionnement.

Cependant, la conception de ces vergers doit être préparée *a minima* 15 à 20 ans avant leur entrée en production effective. Elle suppose donc une analyse prospective des besoins futurs de la filière mais doit aussi être raisonnée selon tous les paramètres économiques et techniques inhérents à chaque projet. Autrement dit, c'est toute une stratégie qui se met en place et dont on présente ici les tenants et aboutissants.

## Qu'est-ce qu'un verger à graines ?

Un verger à graines est une plantation de clones ou de familles sélectionnés, isolée et gérée de manière à produire des semences fréquentes, abondantes et aisément récoltables. Rappelons que les clones sont des copies d'individus issues de greffons ou boutures et que les familles sont les descendants d'individus, issus de leurs semences (éventuellement obtenues par fécondation contrôlée).

## Constitution d'un verger

Au sein de l'aire géographique naturelle des espèces ou dans des zones où elles ont été introduites, une équipe de spécialistes identifie des provenances dignes d'intérêt. Elle y repère des arbres "plus" selon des critères pertinents et propres à chaque espèce (vigueur, forme, qualité du bois, résistance aux maladies, tardivité de débournement...). Des récoltes de fruits, de boutures ou de greffons sont réalisées sur ces arbres repérés. En général, ce matériel végétal collecté est multiplié, puis installé dans des tests de sélection multi-sites où il fait l'objet d'un programme de mesures rigoureux pour pouvoir être évalué à un âge permettant l'expression des caractères de supériorité recherchés.

Les familles ou les clones les plus performants sont alors sélectionnés puis multipliés et assemblés de façon à créer des variétés qui regroupent le maximum de diversité tout en constituant des unités homogènes adaptées aux différentes zones d'utilisation des espèces en plantation. À cette étape, la multiplication végétative est privilégiée : comme pour les arbres fruitiers, elle permet de raccourcir significativement le cycle d'entrée en fructification des arbres. Elle est réalisée dans les pépinières expérimentales (Peyrat le Château, Guéméné-Penfao, Cadarache) le plus souvent par greffage et nécessite une parfaite maîtrise de la technique. Après la reprise de la greffe ou l'enracinement des boutures, les jeunes plants sont élevés 1 à 2 ans en conteneurs puis sont plantés à faible densité (6 m x 6 m en général) suivant un plan d'installation très précis, afin de constituer un verger à graines. Le site d'accueil doit tenir compte des contextes pédoclimatiques favorables pour l'essence, des conditions optimales de floribondité et de la nécessité d'isolement pollinique.

Dès les premières récoltes de fruits représentatives, la descendance des vergers est à son tour évaluée dans des tests multi sites, sauf dans le cas des variétés à turn-over rapide (pin maritime par ex.). Les informations collectées permettent d'évaluer et de caractériser les vergers et de définir les conditions optimales d'utilisation des MFR qui en sont issus.

Dans les vergers, chaque arbre est identifié individuellement. Il est ainsi possible de procéder à des éclaircies génétiques ou de recomposer de nouveaux vergers.

## Gestion et récoltes de fruits

Les vergers à graines forestiers constituent un patrimoine précieux, fruit de l'investissement de l'État français et aboutissement d'un important travail de recherche. Comme leurs homologues en arboriculture fruitière, ils nécessitent des soins attentifs et font donc l'objet d'entretiens réguliers et d'une surveillance phytosanitaire régulière et approfondie.

Pour pallier les aléas d'une fructification naturelle trop tributaire des conditions météorologiques, INRAE a développé des techniques de stimulation florale qui visent à forcer le développement des bourgeons floraux, et en conséquence, celui des fruits. Par exemple, en mars/avril de la

saison précédant la récolte des cônes, des incisions superficielles sont pratiquées à la scie sur l'écorce des Douglas (Photo A). En complément, les arbres se voient injecter une dose d'hormones et reçoivent une fertilisation principalement azotée. Grâce à ce traitement, les récoltes de cônes de Douglas sont plus fréquentes et abondantes. En outre, toujours dans le cas du Douglas, INRAE a développé un schéma de lutte biologique contre les insectes parasites ravageurs de graines par introduction de parasitoïdes.

Les vergers sont en pollinisation libre à l'exception de certaines variétés hybrides produites exclusivement par fécondation artificielle. C'est le cas notamment de la variété de mélèze hybride du verger « Lavercantière ». Dans cet exemple, les fleurs mâles sont cueillies sur le mélèze japonais. Le pollen est extrait de ces fleurs, puis nettoyé, déshydraté et congelé. Lorsqu'elles sont réceptives, les fleurs femelles de mélèze d'Europe sont fécondées artificiellement. Le taux d'hybridité des semences obtenues par ce croisement est déterminé à l'aide de marqueurs génétiques pour la bonne information des utilisateurs.

Dans les vergers, selon les essences, les fruits sont récoltés par des cueilleurs grimpeurs entre juillet et décembre, suivant un protocole précis de façon à préserver le maximum de la diversité. Les collectes sont ensuite soigneusement conditionnées, puis acheminées dans les sécheries des producteurs de semences.

Aujourd'hui, de nouveaux vergers sont conçus sous une formule d'exploitation plus intensive, mais avec des cycles de renouvellement plus rapprochés.



↑ Photo A. Traitement d'induction florale sur Douglas (vergers du Lot)

© Christian Blazy / ONF

## Les vergers à graines français : une ressource précieuse à renouveler et à enrichir

### ■ Un intérêt éprouvé pour l'approvisionnement en MFR

Les vergers à graines sont l'aboutissement d'un long travail de sélection préalable et ils présentent, pour l'approvisionnement en MFR de qualité, de nombreux intérêts qui ont largement fait leurs preuves :

- pour certaines essences (Douglas notamment), ils permettent de déployer des technologies florifères et d'accroître ainsi le potentiel de production de semences,
- la logistique de récolte des fruits et graines est rationalisée,
- les cueilleurs peuvent intervenir dans des conditions de sécurité optimales,
- les récoltes explorent le maximum de la diversité grâce au comptage préalable des fleurs mâles et femelles qui permet de s'assurer de la contribution des divers clones à la panmixie (reproduction au hasard),
- lorsqu'il s'agit de compositions clonales (ou familles issues de fécondation contrôlée), l'identité génétique de chaque composant des vergers est déterminée avec précision. Ainsi, le contrôle de la traçabilité par marqueurs est possible sur toute la chaîne de production des MFR, de la gestion du verger, jusqu'à la livraison des plants.
- Il est possible de concevoir des variétés hybrides (mélèzes, noyers...) (photo B).

Par ailleurs, les boisements avec des variétés améliorées issues de vergers contribuent au renouvellement de la forêt française avec des retombées positives qui, en matière économique, s'expriment à plusieurs niveaux :

- Gains génétiques qui se traduisent par un accroissement de la vigueur (volume). Par exemple, pour le pin maritime, les vergers de première génération ont permis de gagner 4 à 5 ans réels sur les cycles de sylviculture et l'espoir de gain supplémentaire est encore de 2 à 3 ans pour ceux qui ont pris le relai.
- Amélioration de la conformation des tiges et de la qualité du bois, dans un objectif de valorisation technologique des volumes de bois produits.
- Mise à disposition d'origines adaptées aux stations de plantation par la sélection de variétés sur la tardiveté de débourrement ou par la prise en compte des risques associés aux incidents pathologiques ou climatiques. À titre d'exemple, INRAE a repéré que les origines alpines de mélèze d'Europe étaient plus sensibles à *Lachnellula willkommii* (chancre) que celles des Sudètes et ajusté en conséquence la composition clonale du verger « Le Theil ». De même, la composition des vergers à graines de pin maritime a tiré les enseignements du gel dévastateur de 1985 qui avait davantage impacté les boisements constitués à partir de provenances ibériques.
- Économie de travaux au niveau des dégagements avec l'emploi d'une variété performante en vigueur.



← Photo B. Verger de mélèze de Lavercantière (46) pour production d'une variété hybride

© Joël Conche/ONF

## ■ Une histoire amorcée il y a 60 ans et qui doit se poursuivre

Les premiers vergers à graines français ont été installés en forêt domaniale de 1961 à 1969 : 7 vergers consacrés au Douglas, au pin sylvestre et à l'épicéa commun. Puis, au début des années soixante-dix, sont apparus les vergers de première génération de pin maritime (VF1) plantés par l'État et par des opérateurs privés. Tous ces vergers initiaux ont été radiés du registre des MFR vers 2005 dès lors que de nouvelles compositions, conçues à partir de configurations génétiques plus performantes, sont entrées en production.

Entre 1977 et 1990, l'État français a programmé et installé près de 300 ha de vergers. La plupart sont entrés en production une quinzaine d'années environ après leur plantation. Les vergers de pin maritime de seconde génération (VF2), plantés à la fin des années quatre-vingt, se sont progressivement substitués aux VF1. Les VF3 ont ensuite pris le relais au début des années deux mille puis le programme VF4 a démarré à la fin des années deux mille dix. Une quinzaine de vergers de noyers hybrides, plantés sous initiatives privées, ont été admis au registre national lorsque l'espèce a été réglementée.

Actuellement, l'inventaire national des ressources génétiques forestières (consulté avril 2022) répertorie en forêt métropolitaine 139 espèces d'arbres (indigènes, acclimatées ou exotiques) et, sur les 67 essences réglementées au titre des MFR, 17 sont représentées dans les vergers à graines encore productifs en 2022 mais ce parc est désormais à bout de souffle. En complément, les vergers juvéniles, pas encore fructifères, ainsi que les vergers en projet d'ores et déjà programmés, impliquent 8 nouvelles espèces (Tab. 1) et la réflexion se poursuit pour faire face aux enjeux de l'adaptation au changement climatique, notamment.

## Vers un renouvellement en continu des vergers à graines français

Contrairement à la stratégie de création « massive » mais ponctuelle qui a prévalu par le passé et compte-tenu de l'urgence à rajeunir le parc de vergers à graines de l'État, il serait souhaitable d'entrer maintenant dans un cycle régulier de renouvellement des vergers à graines, de façon à pouvoir :

- bénéficier en continu des acquis des programmes de sélection et fournir aux organismes de recherche le maximum de visibilité sur les objectifs de moyen terme (essence, critères d'amélioration, adaptation aux futures zones de plantation...),
- étaler la charge d'investissement et de préparation (sélection, prélèvement, greffages, plantations...),
- prendre en compte l'évolution des besoins de la filière forêt-bois,

- optimiser la production avec des concepts de vergers innovants, en exploitation plus intensive mais en renouvellement plus fréquent, et conçus de façon à faciliter la logistique de récoltes de fruits,
- diluer les risques climatiques (tempête, incendie, sécheresse...) et phytosanitaires (ravageurs des arbres ou des fleurs/fruits) en diversifiant les sites d'installation.

## ■ L'installation de nouveaux vergers à graines est le fruit d'une réflexion collective

À l'instar des peuplements forestiers, les vergers à graines sont soumis à plusieurs risques qui peuvent affecter leur potentiel de production. Cela peut être le cas des tempêtes (ex. : parcelles de vergers de pin maritime VF2 en 1999), des incendies (ex. : verger de cormier de Bellegarde), ou de l'émergence de nouveaux parasites (ex. : avortement des cônes et réduction des rendements dans les vergers de pin maritime, lié entre autres au parasitisme de la punaise *Leptoglossus americana*). Par ailleurs, certains vergers ne fructifient que rarement, en raison de décalages de phénologie (gel des fleurs, avortement...) entre leur site d'origine et leur site d'implantation, ou pour d'autres causes non déterminées (ex. : verger de pin sylvestre « Taborz » ou de mélèze d'Europe « Le Theil »)

Il faut en outre intégrer le fait qu'une variété puisse devenir obsolète à l'avenir et selon des éléments inconnus à ce jour, par exemple en cas de survenance de pathogènes virulents sur une espèce (ex. : verger de frêne commun), en cas de désintérêt sur une espèce ou une variété (ex. : vergers d'épicéas installés à la fin des années 70) ou tout simplement lorsque les tests d'évaluation ne se révèlent pas à la hauteur de ce qui était espéré (ex. : verger de Douglas, variété « Californie »).

De fait **la création de nouveaux vergers est une préoccupation complexe, au croisement de multiples enjeux** qui mobilisent l'ensemble des acteurs de R&D. Compte tenu de ces enjeux et des moyens importants qu'elle met en œuvre, la décision de créer de nouveaux vergers est donc le fruit d'une réflexion collective, animée par le Comité technique permanent de la sélection (CTPS). Instance consultative auprès du ministère en charge de la forêt, le CTPS (section Arbres forestiers) est en effet chargé d'évaluer l'adéquation entre les besoins français en MFR et les ressources disponibles sur le territoire, autant pour ce qui concerne les peuplements sélectionnés que pour les variétés améliorées. À ce titre, il formule des propositions sur la stratégie de classement de peuplements sélectionnés et sur l'installation de futurs vergers à graines. Ces propositions s'inscrivent dans une vision de long terme englobant les actions d'intérêt national que sont la nécessaire adaptation des forêts aux changements climatiques, la reconstitution des peuplements sinistrés par les catastrophes sanitaires, et l'effort indispensable pour reconstituer une forêt productive d'avenir et de qualité.

Essence	Vergers productifs exploités		Vergers productifs non exploités (*)		Vergers juvéniles - moins de 10 ans)		Vergers faisant l'objet de projets en préparation (à l'échéance de 4 ans ou moins)		Statut des vergers productifs
	surface	nombre	surface	nombre	surface	nombre	surface	nombre	
<i>Abies bornmuelleriana</i>	9,5 ha	2							Etat
<i>Abies cephalonica</i>	4,0 ha	1							ONF
<i>Abies grandis</i>					1,5 ha	1			Etat
<i>Abies nordmanianna</i>			1,0 ha	1					INRAE
<i>Abies procera</i>							1,0 ha	1	Etat
<i>Cedrus atlantica</i>					4,0 ha	1	5,0 ha	1	Etat
<i>Larix decidua</i>	13,4 ha	1			5,1 ha	1	10,0 ha	2	Etat
<i>Larix x eurolepis</i>	6,6 ha	2	2,0 ha	1	4,2 ha	1			Etat, ONF
<i>Picea abies</i>	13,4 ha	3	33,6 ha	2					Etat
<i>Picea sitkensis</i>							1,0 ha	1	Etat
<i>Pinus nigra laricio var. Calabrica</i>	5,0 ha	1							Etat
<i>Pinus nigra laricio var. Corsicana</i>	55,0 ha	2	13,0 ha						Etat
<i>Pinus pinaster</i>	370,0 ha	15			65,4 ha	4	58,0 ha	4	Privé, ONF, Etat
<i>Pinus sylvestris</i>	17,4 ha	3							Etat
<i>Pinus taeda</i>	4,7 ha	1			6,6 ha	1	?	?	Privé
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	89,5 ha	8			29,8 ha	4	10,0 ha	1	Etat
<i>Fraxinus excelsior</i>	1,0 ha	1							Privé
<i>Juglans major x regia L.</i>	5,5 ha	7							Privé
<i>Juglans nigra x J. regia</i>	5,6 ha	8							Privé
<i>Prunus avium</i>	1,3 ha	2					1,0 ha	1	Privé
<i>Quercus pubescens</i>							10,0 ha	1	Etat
<i>Robinia pseudoacacia</i>					4,0 ha	1			Etat
<i>Sorbus domestica</i>	1,4 ha	1							INRAE
<i>Tilia platyphyllos</i>							1,0 ha	1	Etat
<i>Tilia cordata</i>							1,0 ha	1	Etat
	603,1 ha	58	49,6 ha	4	120,5 ha	14	98,0 ha	14	

↑ **Tableau 1.** Situation des vergers à graines français au 31/12/2021

(\*) Les vergers productifs non exploités sont composés de variétés génétiques en décalage entre les besoins pressentis dans les années 70 et ceux constatés aujourd'hui (cas de l'épicéa commun par ex.)



← Les aléas climatiques ou sanitaires (comme la chalarose du frêne) font augmenter les besoins de semences... mais n'épargnent pas toujours les vergers à graines

© Lamiot, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons

Sur le plan pratique, au-delà de l'appréciation des risques, les vergers à graines doivent être calibrés en fonction des besoins de la filière forêt-bois en projection à 15-40 ans et leurs coûts d'installation et de gestion doivent être économiquement supportables proportionnellement aux enjeux analysés. Ils sont évalués à partir de l'expérience en gestion des vergers actuels. De plus, l'installation et la gestion des vergers à graines exigent le déploiement de moyens dédiés ainsi qu'une maîtrise technique rigoureuse. Pour cette raison, il est souhaitable de concentrer les sites d'installation autour d'équipes spécialisées. Pour les vergers de l'État, ces aspects opérationnels concernant les lieux d'installation et les itinéraires culturels sont pilotés par le CTC - Comité technique de coordination des vergers à graines de l'État, une instance qui regroupe les spécialistes du ministère en charge de la forêt, du GIE « Semences forestières améliorées », de l'ONF, du CNPF-IDF et de la recherche.

Enfin, sept grands critères, qui sont développés ci-après plus en détail, sont à prendre en considération pour appréhender les priorités d'installation des nouveaux vergers (Tab. 2).

- a. Rajeunir le parc actuel de vergers ;
- b. Améliorer les conditions de récolte et la diversité (par rapport à la récolte en peuplements sélectionnés) ;
- c. Accroître les quantités de MFR à produire ;
- d. Sauvegarder ou valoriser des collections ou des dispositifs de R&D ;
- e. S'affranchir de la dépendance de l'importation ;
- f. Bénéficier en continu de l'amélioration génétique ;
- g. Adapter de nouvelles ressources pour de nouveaux contextes.

## ▲ Critère « a » : rajeunir le parc actuel de vergers

Le parc actuel des vergers à graines de l'État est maintenant très âgé, entre 30 et 45 ans. Or, l'âge optimum de fin d'exploitation d'un verger à graines devrait normalement se situer autour de 30/35 ans (Douglas, épicéa, pins, mélèze) voire plus proche de 20/25 ans pour les essences à croissance rapide (pin maritime, pin à encens, merisiers, tilleuls, érables...).

Il est cependant difficile d'apprécier le potentiel de « survie productive » des vergers qui dépend, d'une part, des limites techniques et économiques des récoltes sur arbres hauts et, d'autre part, de l'intensité des stress subis par les arbres, qu'ils soient naturels (sécheresses, attaques phytosanitaires...) ou artificiels (traitements d'induction florale). Dans les faits, les vergers peuvent subsister tant que les arbres fructifient mais ils perdent de leur intérêt lorsque la récolte devient trop coûteuse ou lorsque les variétés sont remplacées par d'autres, mieux adaptées ou plus performantes.

Par ailleurs, certains vergers sont en sous-production chronique de cônes depuis leur installation (ex. : pin sylvestre « Taborz ») et il serait opportun de les dupliquer sur des sites plus appropriés.

Les premières récoltes dans les vergers interviennent généralement entre 10 et 15 ans environ après la plantation. Cependant, pour certains feuillus (robiniers, érables, tilleuls...), on peut envisager une entrée en production beaucoup plus précoce, autour de 5 à 8 ans. La France ne dispose pas encore de vergers de chênes mais dans d'autres pays (Serbie, Autriche, Hongrie), des vergers clonaux de chêne pédonculé sont entrés en production significative autour de 10 ans.

		LEGENDE											
Argumentation pour l'installation de nouveaux vergers		a	rajeunir le parc actuel de vergers										
		b	améliorer les conditions de récolte et la diversité (vs peuplements)										
Condition remplie selon :		c	accroître les quantités de MFR à produire										
		d	sauvegarder ou valoriser des collections ou dispositifs de R&D										
		e	s'affranchir de la dépendance de l'importation										
		f	bénéficier en continu de l'amélioration génétique										
		g	adapter des nouvelles ressources pour de nouveaux contextes										
		X	Critère principal										
		x	Critère secondaire										
Espèces	Catégories des matériels de base disponibles en France (cf. réglementation des MFR)	motivation selon légende ci-dessus							Situation du registre national des MFR en 2021				
		a	b	c	d	e	f	g	Nb de peuplt sélect. et testés	Surface peuplt sélect. et testés	Nb de vergers	Surface de vergers	
alisier torminal	Identifiée		X										
aulne à feuilles en cœur	Identifiée												
aulne blanc	Identifiée												
aulne glutineux	Identifiée												
bouleau pubescent	Identifiée												
bouleau verruqueux	Identifiée												
Calocèdre	Non réglementé MFR			X	x	X		X					
cèdre de l'Atlas	Sélectionnée Testée			X				X	45	813 ha			
cèdre du Liban	-				x								
charme	Identifiée												
châtaignier	Identifiée (Provenance CSA 800 « Corse ») Sélectionnée								54	522 ha			
chêne chevelu	Identifiée												
chêne liège	Identifiée Sélectionnée								19	139 ha			
chêne pédonculé	Sélectionnée								97	2509 ha			
chêne pubescent	Identifiée		X	X		x		X					
chêne rouge	Sélectionnée				X				77	415 ha			
chêne sessile	Sélectionnée								175	10400 ha			
chêne vert	Identifiée												
cornier	Identifiée Qualifiée		X	X	X						1	1,40 ha	
cultivars hybrides du genre peuplier	Testée												
douglas vert	Sélectionnée Qualifiée Testée	X		X				X	51	308 ha	8	89,50 ha	
épicéa commun	Sélectionnée Qualifiée							X	76	6683 ha	3	16,31 ha	
épicéa de Sitka	Sélectionnée				x	x			12	106 ha			
érable champêtre	Identifiée		X					X					
érable plane	Identifiée		X					X					
érable sycomore	Identifiée (Provenance APS 400 « Massif Central ») Sélectionnée		X						35	548 ha			
eucalyptus Gundal	Testée												
eucalyptus Nitens													
frêne commun	Identifiée (Provenance FEX 400 « Massif Central ») Sélectionnée Qualifiée								51	1025 ha	1	0,97 ha	
frêne oxyphylle	Identifiée												
gommier à cidre	Identifiée												
gommier bleu	Identifiée												
hêtre	Sélectionnée								123	4515 ha			
mélèze d'Europe	Sélectionnée Qualifiée	X		X		X	X	X	37	871 ha	1	13,41 ha	
mélèze de Sibérie	-												
mélèze du Japon	-												
mélèze hybride	Qualifiée Testée	X		X		x	X				2	6,64 ha	
merisier	Identifiée Sélectionnée Qualifiée Testée	X							54	553 ha	2	1,28 ha	
noyer hybride	Identifiée Qualifiée										7	5,46 ha	
noyer hybride	Identifiée Qualifiée										8	5,57 ha	
noyer noir d'Amérique	Identifiée												
noyer royal	Identifiée												
peuplier noir	Qualifiée (mélanges clonaux)												
pin à crochets	Non réglementé MFR												
pin à encens	Sélectionnée		X	X					25	214 ha	1	4,73 ha	
pin brutia	-					x		X					
pin cembro	Identifiée												
pin d'Alep	Sélectionnée								19	200 ha			
pin de Bosnie	-												
pin de Monterey	Identifiée								3	32 ha			
pin de Salzmann	Sélectionnée		X		X			X	3	91 ha			
pin des Canaries	-												
pin laricio de Calabre	Qualifiée	X						x			1	5,00 ha	
pin laricio de Corse	Sélectionnée Qualifiée Testée	X							44	3051 ha	2	54,96 ha	
pin maritime	Sélectionnée Qualifiée			X			X	x	124	13392 ha	14	385,64 ha	
pin noir d'Autriche	Sélectionnée								32	694 ha			
pin pignon, pin parasol	Identifiée Sélectionnée								32	216 ha			
pin sylvestre	Sélectionnée Qualifiée	X		x			X		122	4996 ha	3	17,36 ha	
pin tordu	-												
pommier sauvage	Identifiée												
robinier faux-acacia	Identifiée					X							
sapin de Bornmuller	Qualifiée										1	4,50 ha	
sapin de Céphalonie	Identifiée										1	4,00 ha	
sapin de Nordmann	Non réglementé MFR					X		X					
sapin de Vancouver	Identifiée												
sapin pectiné	Sélectionnée								131	8620 ha			
sapin pinsapo	Identifiée												
tilleul à grandes feuilles	Identifiée		X	X		x		X					
tilleul à petites feuilles	Identifiée		X	X		x		X					
tremble	Identifiée												

← Tableau 2. Critères pour argumenter l'installation de nouveaux vergers à graines

## ▲ Critère « b » : améliorer les conditions de récolte et la diversité

Pour certaines essences comme le pin sylvestre (voir Tab. 3), la récolte par grimpage est difficilement envisageable pour des raisons de sécurité et de coût. En conséquence, le ramassage des cônes se fait le plus souvent sur les houppiers au sol lorsque des opportunités de fructification se présentent l'année où une exploitation a lieu sur le peuplement sélectionné, ce qui est très limitant, autant pour la logistique que pour la qualité génétique. Dans ce cas, l'intérêt d'un verger à graines est évident.

La question se pose très différemment chez les chênes. Les glands sont collectés manuellement, directement au sol. Ainsi, le nombre d'arbres à récolter n'est pas un facteur contraignant. En outre, pour le chêne sessile ou le chêne pédonculé, les récoltes explorent un nombre important de peuplements sélectionnés répartis en plusieurs régions de provenances (respectivement 19 et 7). La diversité des lots de graines récoltés est alors optimum et un verger à graines pour ces espèces aurait donc assez peu d'intérêt sauf dans le cas où l'on souhaiterait améliorer un critère (adaptation aux conditions xériques par ex.). En revanche, dans le cas du chêne pubescent, la France ne dispose pas de peuplement sélectionné et les récoltes se limitent donc aux sources « identifiées » par zones de provenance, sans sélection qualitative. Aussi, compte-tenu de l'intérêt que revêt aujourd'hui cette essence, les vergers à graines constitueront une alternative avantageuse par rapport à la situation actuelle.

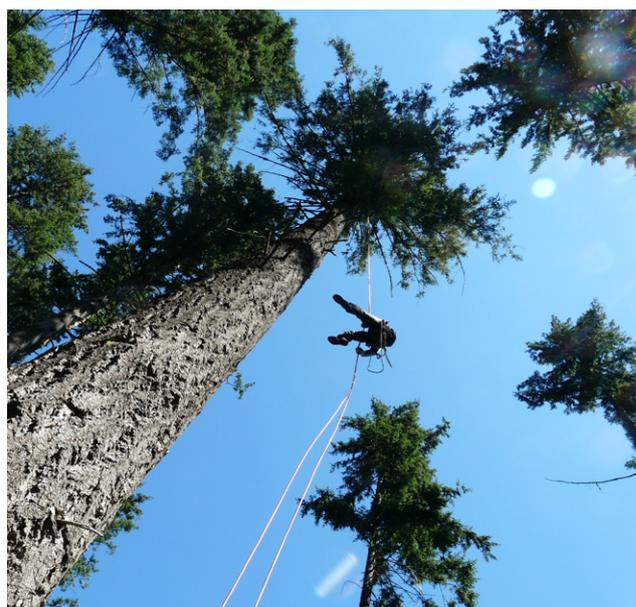
D'une façon générale, les récoltes par grimpage sur des arbres de peuplements sélectionnés, généralement très hauts (30 m) et élagués, sont complexes, coûteuses et périlleuses (photo C). Pour cette raison, le nombre de génotypes récoltés restera toujours inférieur à celui d'un verger. Dans ces situations, la solution du verger à graines devra toujours être analysée, dans la mesure, bien sûr, où le besoin en semences justifie cet investissement.

		Légende															
a		au sol, collecte manuelle															
b		au sol, collecte sur filet ou bêche															
c		au sol, sur les branches après exploitation ou élagage															
d		par grimpage et cueillette															
e		par grimpage et gaulage des fruits															
f		sur l'arbre avec nacelle															
g		récupération des graines sur l'eau/neige)															
h		au sol par tri des graines dans la litière															
x		Méthode principalement utilisée															
x		Méthode éventuellement utilisée															

Essences	méthode de récolte selon légende ci-dessus															
	en peuplement								en verger à graines							
	a	b	c	d	e	f	g	h	a	b	c	d	e	f	g	h
alisier terminal				X								X				
aulnes			X				x									
bouleaux			X													
cèdres			x	X								X		x		
charme			X													
châtaignier	X															
chênes	X	x						X	X							
cormier	x	X			x			x	X				X			
douglas vert			x	X								X		x		
épicéas			X	X								X		x		
érable champêtre			X	x								X				
érable plane & sycomore			X	X								X				
frênes			X	X								X				
hêtre	X															
mélèze d'Europe			x	X			x					X				
mélèze du Japon				X												
mélèze hybride												X		x		
merisier		x			X				X			X	X	x		
noyers hybrides									X							
noyer noir d'Amérique	X	x														
noyer royal												X				
pin à crochets			x	X								X		x		
pin à encens			x	X								X		x		
pin cembro			x	X												
pin d'Alep			x	X												
pin de Monterey			x	X												
pins noirs			x	X								X		x		
pin maritime			X	x								X		x		
pin pignon, pin parasol			x	X								X		x		
pin sylvestre			X	x								X		x		
pommier sauvage	x	X			x							X		X		
robinier faux-acacia			x					X			X					
sapins			x	X								X		x		
tilleuls		x	X									X		x		

↑ Tableau 3. Méthodes de récolte en peuplement et en verger à graines



© Vincent Dousset/GIE SITKA

↑ Photo C. Récolte par grimpage en peuplement sélectionné

## ▲ Critère « c » : accroître les quantités de MFR à produire

Concernant l'estimation des besoins en MFR, deux constats préalables font aujourd'hui consensus :

– la nécessité d'adapter le renouvellement des forêts aux changements climatiques de façon volontariste et exploratoire, ce qui passe nécessairement par le recours aux plantations ;

– un ralentissement significatif du rythme des plantations depuis une quinzaine d'années, mettant ainsi en difficulté l'approvisionnement de la filière en bois résineux (bois de structure) à compter des années 2030, consécutivement à l'arrêt du Fonds forestier national fin 1999.

Ces deux axes sont largement traités dans le Programme national forêt bois (PNFB) 2016-2026, qui prévoit donc une augmentation assez forte des besoins de semences ainsi que des mesures pour y faire face. Cet enjeu a été souligné dans les conclusions des réflexions des Assises de la Forêt et du Bois (octobre 2021-mars 2022), avec des engagements concrets à la clé (action 2.9 notamment).

Par ailleurs, certains approvisionnements en MFR sont aujourd'hui en tension. Il convient cependant de faire la part des choses entre :

- des difficultés chroniques liées en grande partie à une ressource française insuffisante (mélèze d'Europe, Douglas...),
- des problèmes phytosanitaires nouveaux qui affectent les fructifications (pin maritime),
- des irrégularités conjoncturelles inhérentes aux aléas de floraison et accentuées par le fait que les semences ne se conservent pas durablement (chênes, cèdre de l'Atlas...),
- des augmentations spontanées de la demande non anticipées (cas du chêne pubescent, et d'une façon générale de beaucoup d'espèces envisagées en accroissement dans le cadre du Plan de relance). Dans une quinzaine d'années, les projets d'augmentation des surfaces de vergers à graines devraient permettre de répondre à l'expansion de la demande.

## ▲ Critère « d » : Sauvegarder ou valoriser des collections ou des dispositifs de R&D

Il peut être parfois opportun de dupliquer par sécurité des collections ou des vergers uniques, actuellement dépourvus d'archives clonales<sup>1</sup>. Cela évite de perdre définitivement le fruit de plusieurs années de travail lorsque les arbres arrivent à maturité, en cas d'accident météorologique ou lorsque le propriétaire des sites souhaite récupérer ses terrains.

<sup>1</sup> • Archive clonale : population de référence, où chaque composant est identifié, et sur laquelle du matériel végétal peut être collecté pour multiplication

Ainsi, des vergers conservatoires de sapin de Vancouver, de sapin noble et d'épicéa de Sitka ont été dupliqués récemment, même si ces espèces n'apparaissent pas prioritaires vis-à-vis de l'adaptation aux changements climatiques. Très prochainement, une collection comptabilisant près de 700 génotypes de pins de Salzmann sera également dupliquée, avec un double objectif de sécurisation de la ressource et de récolte de graines.

## ▲ Critère « e » : s'affranchir de la dépendance de l'importation

Pour notre approvisionnement français en MFR, nous sommes aujourd'hui très dépendants de l'importation de semences pour quelques espèces.

Cela n'est pas nécessairement problématique si l'offre proposée dans les pays concernés est suffisante, régulière, homogène et de qualité. Cette condition est remplie à ce jour en Turquie pour l'approvisionnement en pin de Brutie, cèdre du Liban, et sapin de Cilicie ou aux USA pour l'épicéa de Sitka. En revanche, c'est loin d'être le cas pour des pays d'Europe de l'Est avec le mélèze d'Europe de variété « Sudètes » dont les semences sont rarement disponibles. Par ailleurs, il est extrêmement aléatoire, voire très incertain ou parfois impossible, de se procurer des semences de chênes exotiques méditerranéens (chêne de Hongrie, chêne de Kasnak) ou de calocèdre alors que ces essences intéressent maintenant les sylviculteurs français dans le cadre de l'adaptation des forêts aux changements climatiques.

Aussi, il peut être opportun d'envisager la plantation de vergers à graines d'essences exotiques, sous réserve bien sûr que la ressource de base (greffons) soit disponible et diversifiée, afin de s'affranchir des aléas des importations de semences, notamment pour les pays qui ne disposent pas de filière graines & plants structurée, ou lorsque la ressource est localement trop rare voire menacée, ou encore pour des semences, telles que les glands de chêne, qui se dégradent très rapidement lors de transports qui s'étirent en durée.

## ▲ Critère « f » : bénéficier en continu de l'amélioration génétique

Les deux essences forestières les plus plantées en France font l'objet de programmes collaboratifs actifs (GIS « Pin maritime du futur » et « Douglas-avenir ») qui aboutissent à la production de nouvelles variétés en continu. Pour d'autres essences majeures en reboisement (cèdre, mélèzes, pin sylvestre, pin à encens...), la collecte d'informations sur les populations de référence (tests de comparaison, collections clonales...) permet l'installation de nouveaux vergers au fur et à mesure de l'apport des connaissances. En revanche, pour des essences comme les tilleuls, les érables ou l'alisier torminal, il faut partir d'une feuille blanche en matière de sélection variétale.

## ▲ Critère « g » : adapter des nouvelles ressources pour de nouveaux contextes

Certains vergers sont devenus obsolètes car issus de sélections conçues dans un contexte environnemental qui a évolué. Les critères de résilience vis-à-vis du changement climatique, notamment, n'étaient pas pris en compte dans les programmes d'amélioration des années soixante-dix ou quatre-vingt.

Pour certaines essences, l'offre en matière de diversification des variétés doit être enrichie car il n'est pas souhaitable que les plantations françaises ne dépendent que d'une variété unique pour certaines essences (ex : pin laricio de Calabre). De même, avec la survenance plus que probable de nouveaux risques sanitaires, il convient de diversifier les sites d'installation des vergers et d'accroître l'offre du catalogue des variétés.

## De nouveaux projets de vergers à graines se concrétisent

### ▲ Des vergers installés récemment ou en préparation...

L'État a planté près de 45 ha de nouveaux vergers à graines lors de la dernière décennie, principalement dans le département du Lot. Le Douglas et le mélèze sont les principales essences concernées et ces projets ont été motivés par plusieurs préoccupations : le nécessaire rajeunissement du parc actuel, l'amélioration et l'adaptation (valorisation du programme Douglas avenir), ainsi que l'accroissement des besoins. En outre, l'ONF s'est associé avec d'autres opérateurs en consortium pour l'installation et l'exploitation future de vergers de pin maritime (programme du GIS pin maritime) et de pin à encens. (Tab. 4 + photos D et E)

Par ailleurs, d'autres opérateurs privés poursuivent des programmes d'installation de vergers, principalement de pin maritime (au rythme annuel de 10 ha) et de pin à encens.

D'ores et déjà, 13 projets de plantation de nouveaux vergers à graines à échéance 2025, sont actuellement à différents stades de préparation : repérage des arbres « plus », constitution des populations d'amélioration, préparation des porte-greffes, éducation des plants greffés... (Tab. 5). Le démarrage de ces programmes a été rendu possible grâce notamment aux fonds du volet « vergers à graines » du Plan de relance et à ceux de la Mission d'intérêt général « Ressources génétiques forestières » confiée par l'État à l'ONF.

Essence	Composition variétale	Surface	Année instal.	Département
<b>Vergers d'État installés depuis 2011</b>				
<b>Mélèze d'Europe</b>	Sudètes	5,10 ha	2011	Lot
<b>Mélèze hybride</b>	Rêve vert VG	4,17 ha	2012	Lot
<b>Douglas</b>	Darrington 2	3,60 ha	2015	Lot
<b>Sapin de Vancouver</b>	Collection INRAE	1,50 ha	2016	Lot
<b>Douglas</b>	Washington 2 bis	6,20 ha	2018	Lot
<b>Douglas</b>	Cœur de l'aire	10,00 ha	2020	Lot
<b>Robinier</b>	France	4,00 ha	2020	Lot
<b>Douglas</b>	Sud de l'Aire	10,00 ha	2021	Lot
<b>Cèdre de l'Atlas</b>	France - arbres fondateurs	4,00 ha	2021	Hte Vienne
<b>Vergers installés en consortium depuis 2011</b>				
<b>Pin maritime</b>	LC3	7,40 ha	2020	Loire atlantique
<b>Pin maritime</b>	VF4	30,00 ha	2020 et 2021	Landes
<b>Pin à encens</b>	Sélection INRAE/FCBA	6,70 ha	2021	Gironde

↑ **Tableau 4.** Jeunes vergers à graines installés par des opérateurs publics depuis 2011 en partenariat avec ONF



© Christian Blazy/ONF

↑ **Photo D.** Jeune verger de Douglas (Darrington junior) âgé de 6 ans (en 2021) à Laresses (46)



© Olivier Forestier/ONF

↑ **Photo E.** Jeune verger de pin maritime (LC3) âgé de 2 ans (en 2022) à La Chapelle-Heulin (44)

Essence	Composition variétale	Surface	Année instal. prévue	Département où l'installation est envisagée
Douglas	Elite 1	10,00 ha	2022 (début)	Lot
Mélèze d'Europe	sudetica	5,00 ha	2022 (début)	Lot
Cèdre de l'Atlas	Fondateurs 2	5,00 ha	2022 (fin)	Lot
Mélèze hybride	fécond. libre jap x eur	1,00 ha	2022 (début)	Loiret
Mélèze d'Europe	polonica	5,00 ha	2023 (fin)	Lot
Chêne pubescent	France	11,00 ha	2023 (fin)	Loire atlantique
Pin maritime	LC3	8,00 ha	2024 (fin)	Lot
Epicéa de Sitka	collection INRAE	1,90 ha	2024	Haute Vienne
Douglas	Elite 2	10,00 ha	2024	Lot
Tilleul à petites feuilles	France	1,00 ha	2024	Loire atlantique
Tilleul à grandes feuilles	France	1,00 ha	2024	Loire atlantique
Sapin noble	collection INRAE	1,80 ha	2024 (fin)	Haute Vienne

↑ **Tableau 5.** Vergers à graines de l'État en préparation (projets validés)

## ...et des projets en réflexion

Au fil du temps et selon leur degré de maturation, d'autres projets seront soumis à l'approbation du CTPS tandis que certains programmes (Douglas, pin maritime) sont dorénavant entrés dans une phase de renouvellement en continu. La liste présentée dans le tableau 6 (page suivante) n'est bien sûr pas exhaustive. D'autres initiatives, publiques ou privées l'enrichiront régulièrement.

En outre, certains tests d'évaluation de provenances (chêne rouge, cèdre du Liban...) ou collections de génotypes (pin de Salzmänn) pourraient être convertis en vergers lorsque leur conception s'y prête (densité, accessibilité, maturité sexuelle, floribondité...).

Pour un avenir plus lointain, il est prévu d'engager rapidement une réflexion prospective sur la faisabilité de créer des ressources françaises de MFR pour de nouvelles essences jugées intéressantes du point de vue de l'adaptation au changement climatique (chêne de Hongrie, chêne de Kasnak, tulipier de Virginie, copalme d'Amérique...).

Essence	Composition variétale	Surface envisagée	Quand ?	Objectif	Existence de collections ou de programmes d'amélioration
<b>Pin sylvestre</b>	Taborz x Hagenau	10,00 ha	d'ici 5 ans	Rajeunir le parc des vergers, bénéficier de nouvelles sélections	OUI
<b>Cormier</b>	France	2,00 ha	d'ici 5 ans	Créer une ressource en valorisant et en enrichissant les collections françaises	OUI
<b>Douglas</b>	Variétés Elite de Douglas avenir	à minima, 20 ha tous les 5 ans		Rajeunir et accroître le parc - Suite programme Douglas avenir	OUI
<b>Pin laricio Corse</b>	Copie des 2 vergers actuels	10,00 ha	d'ici 10 ans	Rajeunir le parc des vergers	copies
<b>Pin laricio Calabre</b>	copie du verger actuel	5,00 ha	d'ici 10 ans	Accroître le parc	OUI
<b>Mélèze hybride</b>	(à définir)	5,00 ha			
<b>Mélèze d'Europe</b>	sudetica 2	10,00 ha	d'ici 10 ans	Accroître le parc	OUI
<b>Erable plane</b>	Sélection à réaliser en France	1 à 2 ha	d'ici 5 ans	Créer une ressource française	NON
<b>Erable sycomore</b>	France	1 à 2 ha	d'ici 5 ans	Créer une ressource française	NON
<b>Erable champêtre</b>	France	1 à 2 ha	d'ici 5 ans	Créer une ressource française - intérêt pour le changement climatique	NON
<b>Alisier torminal</b>	France	0,50 ha	d'ici 10 ans	Créer une ressource française	NON
<b>Calocèdre</b>	Sélection à définir	4,00 ha	dans les 3 ans	Créer une ressource française	NON
<b>Merisier</b>	Copie améliorée du verger Avesac	2,00 ha	dans les 3 ans	Remplacer le verger actuel	OUI
<b>Pin maritime</b>	VF4 et LC3	10 à 20 ha installés annuellement en continu		Bénéficier de la sélection en continu	OUI

↑ **Tableau 6.** Proposition de projets de vergers à graines à échéance de 10 ans

## Conclusion

L'engagement sur le long terme est bien appréhendé par les forestiers en général mais il leur faut maintenant composer en plus avec les incertitudes climatiques et leurs corollaires phytosanitaires. Au-delà des analyses de filière établies sur la base de renouvellements à l'identique des parcelles exploitées, il convient d'anticiper les impacts du changement climatique et substituer par d'autres les espèces/provenances inadaptées pour l'avenir voire déjà affectées par des problèmes phytosanitaires ou des dépérissements sévères (frêne, châtaignier, épicéa, hêtre...).

La France a la chance de disposer d'une filière forestière organisée et structurée avec des producteurs de MFR établis depuis plusieurs décennies. Elle bénéficie par ailleurs de l'héritage d'un long travail de sélection variétale (INRAE, FCBA, ONF), d'opérateurs de déploiement et de vulgarisation (CNP-IFD) et peut s'appuyer sur le fonctionnement éprouvé d'instances de réflexion, d'analyse et de conseil dans le domaine ayant trait aux MFR et aux ressources génétiques forestières en général (Comité technique permanent de la sélection, Comité technique de coordination des vergers à graines de l'État). La gouvernance et la gestion technique des vergers à graines sont solidement rodées et des structures dédiées ont la capacité de faire face à une demande en expansion, que ce soit pour la création variétale, la multiplication et la production des composants des vergers, l'installation puis la gestion des vergers sous des formats plus ou moins innovants.

Il s'agit maintenant de valoriser au mieux ces opportunités dans le contexte actuel où s'exprime un besoin fort de renouvellement forestier, notamment en raison de la nécessaire adaptation des forêts aux changements climatiques. Les mesures annoncées lors de la clôture des Assises de la forêt et du bois (mars 2022) ouvrent une perspective sur 10 ans qui permet de donner corps à des programmes d'amélioration débouchant sur la constitution de nouvelles ressources diversifiées de matériels forestiers de reproduction ; programmes qui intégreront les acquis de la recherche (performances et résilience des variétés, mais aussi technologie florifère, lutte contre le parasitisme des fleurs et des fruits...). La réflexion sur les vergers à graines doit aussi faire l'objet d'une analyse et d'une stratégie globale multi essences. Elle ne peut dépendre d'opportunités sélectives.

La dynamique d'installation de nouveaux vergers à graines est aujourd'hui bien lancée et permet d'optimiser les programmes de sélection d'ores et déjà valorisables. Mais comme la création variétale se construit sur le long terme, il faut envisager dès maintenant les installations pour 2030/2040, en mobilisant les organismes de R&D en charge des programmes de sélection.

Cependant, la projection dans l'avenir, même sur un pas de temps de l'ordre de 20/30 ans, reste entachée d'incertitudes. Par exemple, en 2001, le GIS « variétés forestières améliorées » (sous coordination INRA) avait publié un recueil de réflexions concernant les variétés forestières du futur à l'horizon 2020/2030. Or ni la chalarose du frêne, ni la pullulation des scolytes sur l'épicéa, ni la succession d'étés caniculaires avec pour corollaire tant de dépérissements d'arbres, ni la tempête Klaus..., n'avaient bien sûr pu être imaginées à l'époque de la rédaction de ce document. En revanche, d'autres essences ou provenances, peu citées à l'époque, sont maintenant demandées par les gestionnaires forestiers. Aussi, il est fort probable que notre analyse de 2022 sera partiellement remise en cause dans les prochaines décennies et ajustée ou infléchie à la lumière des événements.

**Joël Conche**

ONF, Expert national Graines et Plants

## RÉFÉRENCES

- GIE SFA Semences forestières améliorées, SNPF Pépiniéristes forestiers français, 2013. Variétés forestières améliorées : pour une forêt d'avenir. Paris : France Bois Forêt. 35 p.
- [https://franceboisforet.fr/wp-content/uploads/2014/06/VarietesForestieresAmeliorees\\_Brochure.pdf](https://franceboisforet.fr/wp-content/uploads/2014/06/VarietesForestieresAmeliorees_Brochure.pdf)
- Héois B., Bilger I., Conche J., Legay M., 2004. Régénération artificielle des forêts : un quintuple rôle pour l'Office national des forêts dans la gestion des ressources génétiques forestières. Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°1 « Diversité génétique des arbres forestiers », pp. 64-70
- Philippe G., Baldet P., Héois B., Ginisty C., 2006. Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines. Cemagref / Ed. QUAE - Coll. Synthèses. 570 p.
- Teissier du Cros E., GIS « variétés forestières améliorées », 2001. Variétés forestières du futur – Réflexion à l'horizon 2020-2030. Rapport. INRA/INRAE. 152 p.



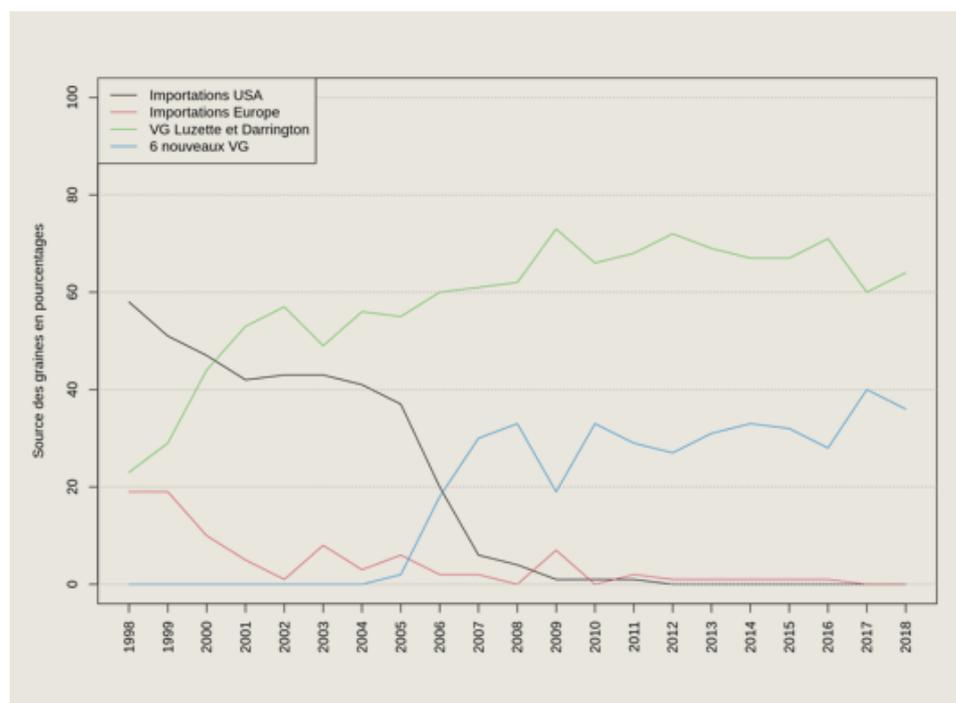
# Évaluation des vergers à graines de Douglas : synthèse des résultats au stade juvénile

L'installation de vergers à graines est une affaire de longue haleine, qui suppose tout un processus de sélection en amont mais nécessite aussi ensuite une démarche d'évaluation des variétés correspondantes, pour aboutir à des conseils d'utilisation pertinents. Voyons, à l'occasion des premiers résultats concernant les vergers de Douglas, en quoi peut consister cette démarche.

## Le contexte

Durant de nombreuses années et jusqu'au milieu des années quatre-vingt-dix, les matériels forestiers de reproduction (graines et plants) de Douglas utilisés en France provenaient de peuplements sélectionnés français ou américains. Ensuite, deux vergers à graines (Darrington PME-VG-001 et La Luzette PME-VG-002) plantés en 1978 et 1981, sont entrés en production. Les vergers à graines sont des plantations d'arbres sélectionnés dédiées à la production de semences génétiquement améliorées.

Deux éléments nouveaux, apparus au milieu des années 2000, sont venus bousculer cet ordre établi. Le premier est d'ordre climatique : la canicule de 2003 et les années sèches qui lui ont succédé dans les régions méridionales ont suscité l'inquiétude de certains reboiseurs qui se sont interrogés sur l'adéquation de l'offre à leurs conditions de reboisement, actuelles et futures. Le second est d'ordre réglementaire et sanitaire : considérant d'une part que la France était suffisamment pourvue en matériels de qualité, et pour prévenir d'autre part les risques sanitaires liés à l'introduction de nouveaux parasites liés aux graines, le ministère en charge des forêts a décidé d'interdire, depuis 2010, les importations de graines de l'aire naturelle américaine.



← Figure 1. Évolution des sources de graines de Douglas utilisées en France. (Source : [www.agriculture.gouv.fr/statistiques-annuelles-sur-les-ventes-de-graines-et-plants-forestiers](http://www.agriculture.gouv.fr/statistiques-annuelles-sur-les-ventes-de-graines-et-plants-forestiers))

Sous l'effet conjugué de ces deux facteurs, les marchands grainiers français (Vilmorin et l'ONF) ont décidé d'exploiter six nouveaux vergers à graines, encore non évalués, afin de diversifier leur catalogue (Washington PME-VG-003, Washington 2 PME-VG-005, France 1 PME-VG-004, France 2 PME-VG-007, France 3 PME-VG-008, et Californie PME-VG-006) (Fig. 1). Les caractéristiques de ces vergers à graines sont détaillées dans la fiche de conseils d'utilisation du Douglas [disponible sur le site du Ministère chargé de la forêt](#).

Du fait de cette évolution soudaine du marché des graines, INRAE, l'IDF/CNPF et l'ONF ont regroupé leurs forces et compétences pour installer un réseau de plantations comparatives couvrant une grande partie du territoire national afin d'évaluer les produits des 8 vergers à graines de Douglas. L'objectif de ce réseau est de dresser une 'carte d'identité' de chaque variété, renseignant les utilisateurs sur ses performances mais aussi sur ses exigences stationnelles. Cette opération d'envergure est soutenue financièrement par le ministère en charge de la Forêt.

## Le réseau d'évaluation

Le réseau est composé de 43 dispositifs installés entre 2009 et 2016 dans une large gamme de contextes pédoclimatiques (Fig. 2) structurée en 4 grands types de contextes écologiques :

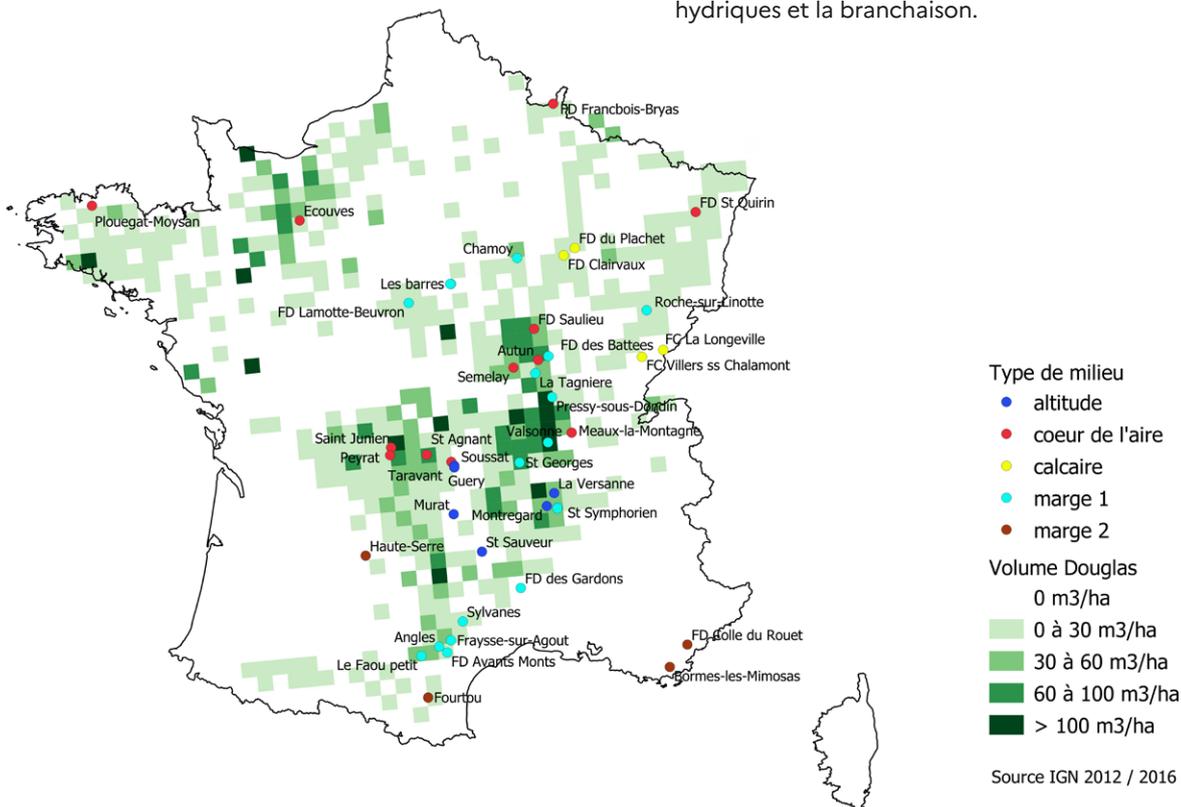
- le **cœur de l'aire** correspondant aux grands bassins de production actuels et où le Douglas devrait toujours avoir sa place dans les 50 ans à venir (12 dispositifs),
- la **marge 1**, zone où le Douglas a un bon développement aujourd'hui mais pourrait avoir des difficultés demain (16 dispositifs),
- la **marge 2**, où le Douglas n'est *a priori* pas à sa place parce que les sites sont trop secs et/ou trop chauds (4 dispositifs),
- les zones d'**altitude** supérieure à 1000 m, où le Douglas pourrait avoir davantage sa place demain (5 dispositifs).

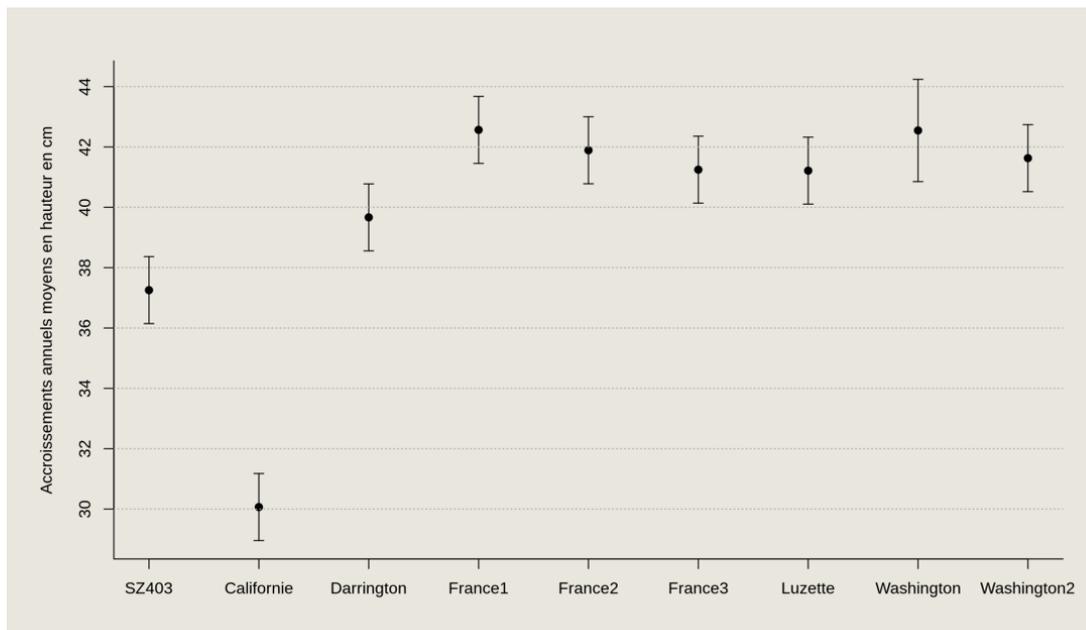
De plus, une extension récente du réseau (installations entre 2015 et 2017), permet d'élargir les gradients écologiques explorés en incluant notamment des stations sur calcaire (Fig. 2).

Les lots de semences récoltés dans les 8 vergers à graines, appelés dans cet article « variétés », sont comparés à la provenance américaine Seed Zone 403 de l'État du Washington (appelée Seed Zone 403 ou SZ403 dans la suite de l'article), dont la qualité était très appréciée. En parallèle, les partenaires de ce réseau ont mis en œuvre des essais particuliers pour évaluer la sensibilité des variétés aux stress hydriques.

Cet article présente les principaux résultats obtenus à ce jour au sein du réseau d'évaluation des vergers de Douglas français à la fois sur l'adaptation au site de plantation, la vigueur juvénile, la phénologie, la sensibilité aux stress hydriques et la branchaison.

↓ **Figure 2.** Carte de répartition des sites du réseau d'évaluation des vergers à graines de Douglas.





← **Figure 3.** Accroissements annuels moyens en hauteurs sur les 5 premières années. Les moyennes et les intervalles de confiance à 95 % sont estimés par les analyses statistiques.

## Analyse en réseau de la survie et de la hauteur 5 ans après plantation

Pour cet article, nous disposons de données sur la hauteur et la survie 5 ans après plantation pour 24 dispositifs. De plus, quelques dispositifs ayant atteint l'âge de 8 ans ont fait l'objet de mesures de circonférence et de branchaison (angle d'insertion et nombre de branches).

### ■ Survie

La survie est globalement satisfaisante. À quelques exceptions près, tous les dispositifs présentent un taux de survie à 5 ans supérieur à 80%. Sur l'ensemble du réseau, les variétés ne diffèrent pas significativement les unes des autres, et présentent des taux moyens de survie supérieurs à 80 %.

### ■ Accroissements en hauteur annuels à 5 ans

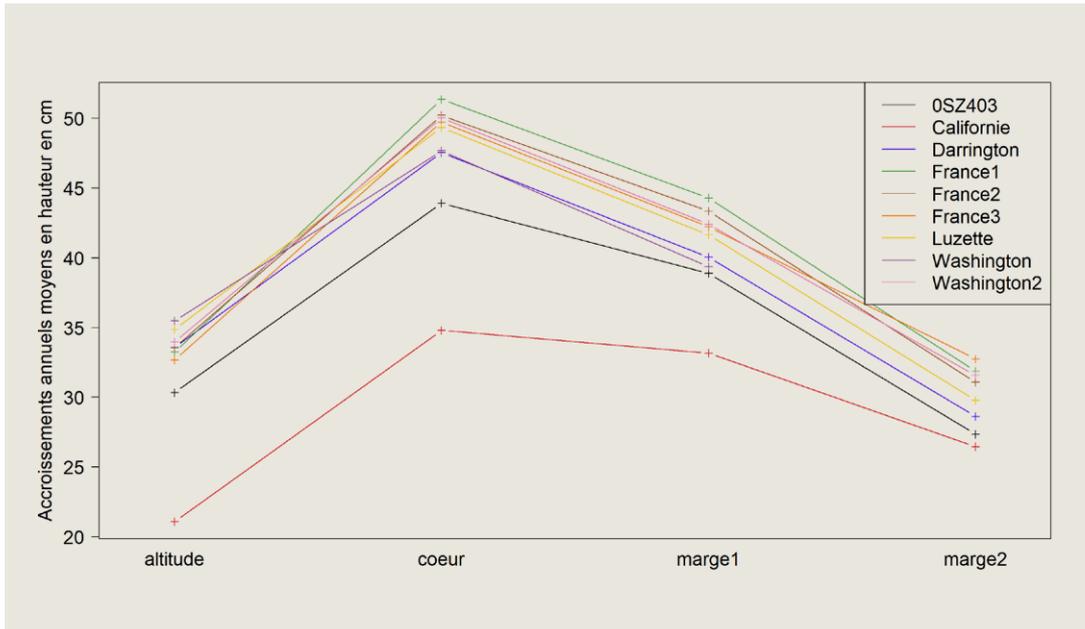
Les analyses ont mis en évidence des différences significatives entre les variétés en ce qui concerne l'accroissement annuel moyen calculé sur les 5 premières années. La variété Californie présente des accroissements plus faibles (environ 30 cm/an) que le témoin Seed Zone 403 (environ 37 cm/an), lui-même distancé par les 7 autres variétés (entre 40 et 43 cm/an) qui ne diffèrent pas entre elles. Les variétés France présentent des accroissements en hauteur équivalents à ceux des variétés Washington2 et Luzette par exemple. La variété Darrington est légèrement en retrait par rapport aux autres variétés de tête (Fig. 3).

## ■ Impact des 4 types de contextes écologiques sur les accroissements en hauteur

Toutes variétés confondues, les dispositifs du « cœur de l'aire » et de la marge 1 présentent une plus forte croissance en hauteur (environ 45 cm/an) que celles situées en marge 2 ou en altitude (32 cm/an). Par ailleurs, bien que l'interaction entre la variété et le contexte écologique ne soit pas significative, il est intéressant de constater une évolution des différences entre les variétés selon le type de milieu. En effet, le différentiel de croissance entre Californie et les autres variétés diminue fortement lorsqu'on passe d'un contexte écologique froid et humide (altitude, cœur de l'aire) à un contexte écologique chaud et sec (marges climatiques). En particulier, Californie ne diffère pas significativement du témoin, ni de certaines variétés, en marge 2 et en marge 1 alors que c'est le cas pour le cœur de l'aire et en altitude (Fig. 4).

## État sanitaire

Lors de chaque campagne de mesure, des notations individuelles ont été effectuées pour caractériser l'état sanitaire des plants. Dans certains dispositifs, la vitalité des arbres a aussi été évaluée en leur attribuant un indice de rétention foliaire (IRF). Cet indice correspond aux « générations » d'aiguilles présentes sur les branches latérales. Il s'est avéré corrélé à la croissance. Le Douglas conserve, comme d'autres résineux, plusieurs années d'aiguilles sur les branches latérales. L'évaluation sur chaque plant du nombre d'années d'aiguilles encore en place est cet indice qui peut aller de 1 à 4. Dans des conditions de croissance difficiles ou lors de conditions climatiques contraignantes (sécheresse) le Douglas, pour diminuer sa transpiration, perd ses aiguilles les plus âgées jusqu'à ne conserver parfois que les aiguilles de l'année en cours.



← **Figure 4.** Accroissements annuels moyens en hauteurs sur les 5 premières années pour chaque type de contexte écologique et pour chaque variété.

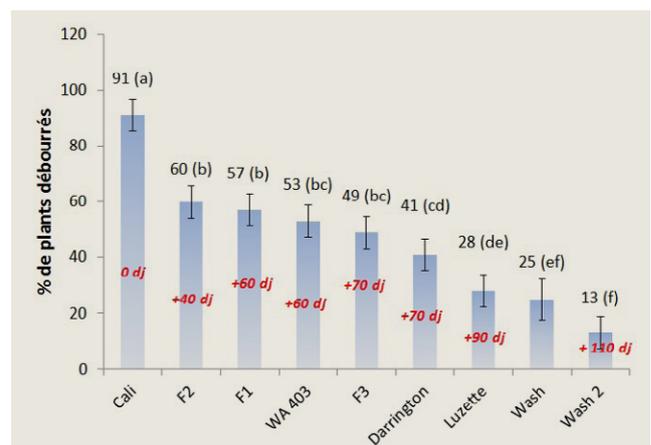
L'analyse de ces données montre clairement une différence de comportement entre Californie et les autres variétés. Californie est dotée d'un IRF plus faible, ce qui doit influencer sur son potentiel photosynthétique.

D'autre part, la variété Californie semble aussi plus vulnérable aux adversités. Il est par exemple beaucoup plus sensible aux gelées tardives, et peut-être aussi aux gels précoces mais le nombre de cas recensés est trop faible pour en être certain. Cette variété se révèle aussi plus fréquemment atteinte par les descentes de cime et les jaunissements/rougissements de feuillage. Sur ces aspects, les autres variétés forment un groupe relativement homogène. On ne recense guère de variétés particulièrement à leur avantage, hormis Washington 2 et Washington pour la sensibilité aux gels tardifs.

## Phénologie du débournement végétatif

La mesure de la phénologie de débournement végétatif correspond à la notation à une date donnée de l'ouverture des bourgeons végétatifs et indirectement du début de la croissance apicale. La date à laquelle ce processus commence est un compromis pour l'arbre. En effet, un débournement végétatif précoce peut permettre d'allonger la période de croissance par rapport à un arbre ayant un débournement plus tardif. Cependant, le bourgeon est un organe de protection du méristème apical et son ouverture prématurée par rapport, notamment, aux gels tardifs de printemps peut exposer ce méristème à des risques et, si celui-ci meurt, annuler la croissance apicale pour une année ou produire des défauts de forme de la tige (flexuosités, fourches...).

Ce caractère, *a priori* déterminé en grande partie génétiquement, et donc stable dans le temps et dans l'espace, peut être appréhendé au stade juvénile en se limitant à un nombre restreint d'environnements (couples site-climat). Les variétés ont été évaluées dans 6 sites et lors d'une ou deux années climatiques, soit au total 8 environnements différents. L'analyse globale s'est basée sur le pourcentage de plants débourrés dans chaque variété à la date la plus discriminante. Comparées au témoin de l'aire naturelle, les variétés se classent dans trois grands groupes : 1) Californie, de loin la plus précoce, 2) les trois variétés 'France' et Darrington, qui ne se différencient pas du témoin Seed Zone 403 et 3) La Luzette, Washington et Washington 2 qui débourrent plus tardivement (Fig. 5).



↑ **Figure 5.** Pourcentages moyens de plants débourrés à la date la plus discriminante entre variétés dans les 8 environnements étudiés. Les barres noires représentent les intervalles de confiance à 95 %. Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. Les valeurs indiquées en rouge sont les sommes des degrés-jours (calculées avec une température de référence de 5°C et mesurées sur le dispositif des Barres, Loiret) qui séparent chaque variété de la variété Californie. La variété Washington n'est pas présente dans le dispositif des Barres.



© Didier François / ONF

↑ Dispositif de Saulieu (21) en mars 2021, 9 ans après plantation

Une fois les besoins en froid satisfaits, le processus de débournement est essentiellement piloté par l'accumulation de chaleur au niveau des bourgeons, et celle-ci est plus ou moins rapide en fonction du site et surtout de l'année. À Peyrat-le-Château (Haute-Vienne) par exemple, le laps de temps séparant les dates de débournement moyennes du Californie et Washington 2 est passé de 13 jours en 2010, année à printemps relativement chaud, à 26 jours en 2017, année marquée par une période de froid fin avril. Les dates de débournement des variétés, estimées dans certains essais, sont donc trop climat-dépendantes pour être présentées ici. Le nombre de degrés-jours est en revanche plus pertinent ; les données collectées dans le dispositif et la station météo des Barres mettent en évidence sur ce site une différence de 60 degrés-jours (dj) entre Californie et le groupe de variétés à débournement intermédiaire et une amplitude totale de 110 dj entre Californie et Washington 2 (Fig. 5). Ces résultats moyens masquent cependant une très forte variabilité intra-variété, supérieure à la variabilité inter-variété. Dans la grande majorité des essais, on observe un chevauchement, souvent large, entre les périodes de débournement des variétés étudiées.

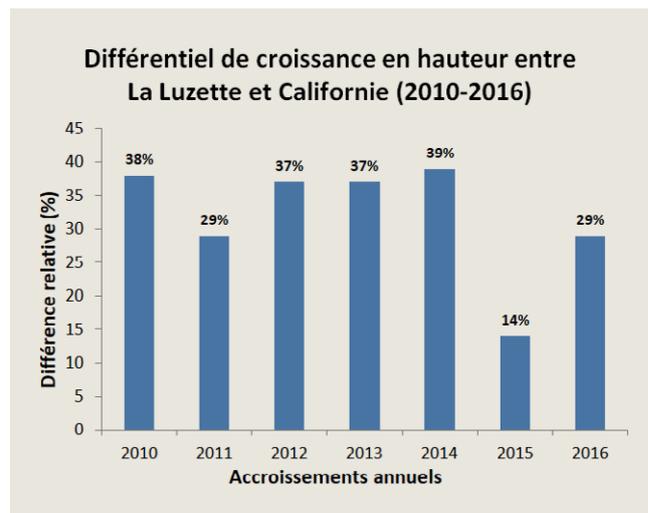
Un débournement trop précoce est généralement perçu comme un handicap. Comme expliqué précédemment, les variétés les plus précoces ont statistiquement plus de chances d'être impactées par les gels de printemps, ce qui peut être très pénalisant dans certains sites. À Peyrat-le-Château par exemple, les gelées de la 2<sup>e</sup> quinzaine d'avril 2017 ont endommagé de façon significative 46% des plants de Californie et 9% des plants des variétés à débournement médian tandis que les trois variétés tardives étaient épargnées. Ce caractère doit donc être pris en compte au moment de choisir une variété pour une plantation. Les conditions climatiques du site sont aussi à intégrer dans la réflexion.

## Vulnérabilité à la sécheresse

Les changements globaux se présentent comme le défi majeur du 21<sup>e</sup> siècle pour nos sociétés. Les arbres forestiers sont particulièrement sensibles car la durée de leur cycle de vie ne permet pas une adaptation rapide à un environnement changeant. Les projections climatiques montrent une augmentation des phénomènes de sécheresse auxquels les arbres seront soumis. La vulnérabilité à la sécheresse des produits des différents vergers à graines actuellement disponibles est donc un paramètre important à considérer dans ce contexte. Afin de caractériser ce trait complexe, le réseau d'évaluation des vergers à graines de Douglas a mis en place différentes approches expérimentales.

### Dispositif *in situ*

Bien qu'il prédispose aux dégâts de gelées tardives, un débournement précoce peut constituer un avantage adaptatif en cas de sécheresse s'il permet à l'arbre de produire ses pousses à une période où l'eau est plus disponible. L'efficacité de cette « stratégie d'évitement » a été mise en évidence dans un dispositif situé dans le Loiret (marge 1), comparant Californie à La Luzette. La supériorité de La Luzette pour la croissance en hauteur, habituellement de l'ordre de 35-40%, se réduit lors de deux années marquées par des printemps secs (2011 et 2015). C'est tout particulièrement le cas en 2015 où le fort déficit de précipitations de mai-juin-juillet, conjugué à des températures élevées, a généré des pertes d'aiguilles précoces et abouti à une nette diminution de la longueur des pousses. Ce fléchissement de la croissance est beaucoup plus sensible pour La Luzette (-33% par rapport à 2014) que pour Californie (-19%), de sorte que, pour la première fois depuis leur plantation en 2009, les deux variétés ne diffèrent pas significativement pour l'accroissement annuel (Fig. 6).



↑ **Figure 6.** Pourcentage d'accroissement supérieur de la variété La Luzette par rapport à la variété Californie dans un dispositif situé dans le Loiret âgé de 8 ans en 2016. 2011 et 2015, années marquées par un printemps chaud et sec.

On observe par ailleurs un rétablissement incomplet de La Luzette l'année suivante, qui peut s'interpréter comme un effet retard de la sécheresse de 2015. En dépit de ce ralentissement passager, cette variété maintient néanmoins une avance confortable sur Californie après 8 ans de croissance sur le terrain.

### ■ Essais en conditions contrôlées

Des essais spécifiques ont été réalisés sous serre ou sous tunnel, de manière à pouvoir contrôler les facteurs du milieu et l'alimentation en eau. Les deux premiers visaient à étudier l'impact de stress hydriques précoces, *i.e.* appliqués durant la période d'élongation des pousses, sur le comportement de Californie, variété jugée *a priori* plus résistante à la sécheresse du fait de l'origine californienne des composants du verger, et La Luzette ou Washington 2 qui faisaient office de témoins. Dans le 3<sup>e</sup> essai (réalisé sur des plants en pots à la pépinière ONF-PNRGF de Peyrat-le-Château), les variétés issues des huit vergers français et le témoin de la Seed Zone 403 étaient soumis à une sécheresse tardive, les restrictions d'eau intervenant une fois la croissance des pousses secondaires terminée (de mi-août à début novembre). Dans tous les cas, le matériel expérimental, constitué de jeunes plants de 2-3 ans, a présenté des signes de dépérissement dans les modalités correspondant aux stress les plus sévères.

Les expérimentations bi-variétés de stress précoce convergent sur deux points. Tout d'abord, le maintien du substrat de culture à une teneur en eau donnée nécessite des arrosages en général plus abondants dans le cas de Californie. Ce résultat suggérerait que cette variété consomme plus d'eau, et donc transpire plus que Washington 2 et La Luzette. En second lieu, les rougissements de feuillage conduisant à la mort du plant se manifestent avec plusieurs semaines d'avance pour variété Californie. Comparée à Washington 2 et La Luzette, cette variété est donc plus sujette à des mortalités importantes en cas de sécheresse intense et prolongée. Il convient cependant de souligner que, dans ces essais, les dépérissements n'apparaissent qu'à la suite de contraintes hydriques extrêmes qui ne se rencontrent pas dans un contexte forestier normal.

Le stress hydrique appliqué dans le 3<sup>e</sup> essai a engendré des rougissements d'aiguilles prononcés sur 20% des plants, ce qui s'est traduit au printemps suivant par une mortalité et des descentes de cimes de faible ampleur. Ces dégâts s'avèrent indépendants de la variété si l'on tient compte du diamètre des plants qui est le principal facteur explicatif. Les individus les plus vigoureux sont en effet plus sujets aux dépérissements ; de même, ils réduisent plus leur croissance en situation de stress hydrique. Il est logique que les plants de fort diamètre pâtissent plus des restrictions d'eau car leurs besoins sont plus importants.

### ■ Résistance à la cavitation

La cavitation est un phénomène physique se traduisant par l'apparition de bulles d'air dans les vaisseaux conducteurs des arbres soumis à un stress hydrique. Lorsque ce phénomène est important, les parties aériennes de l'arbre ne sont plus alimentées en eau, ce qui peut conduire à la mort de l'arbre. La résistance à la cavitation se mesure en soumettant des rameaux, par exemple, à des différences de potentiels hydriques de plus en plus importantes entre l'intérieur de la branche et l'extérieur. On estime ensuite à quelle différence de potentiels hydriques, un certain pourcentage de vaisseaux est en cavitation.

Une étude de l'UMR PIAF de Clermont-Ferrand (INRAE/ Université Clermont Auvergne) ne montre pas de différence significative entre Californie, France 1 et Washington 2 pour la résistance à la cavitation, et plus précisément pour la différence de potentiel hydrique induisant 50% de perte de capacité de transport de l'eau dans la plante ( $\psi_{50}$ ) (T. Barigah, comm. pers.).

### ■ Bilan pour la vulnérabilité à la sécheresse

À ce jour, les résultats de nos essais expérimentaux ne permettent pas de mettre en évidence une résistance à la sécheresse plus importante d'une variété par rapport à une autre. La variété Californie ne présente pas de caractères de résistance à la sécheresse que nous ayons pu mettre en évidence pour le moment. Le débourrement précoce de la variété Californie, ainsi qu'une forte consommation d'eau supposée, plaident en faveur d'une stratégie d'évitement plutôt que de tolérance à la sécheresse pour cette variété. Les dendromètres de précision installés depuis 2019 dans un dispositif du réseau d'évaluation fourniront des informations complémentaires sur le fonctionnement de Californie et La Luzette en période de sécheresse.

## Angle d'insertion des branches et densité de branchaison

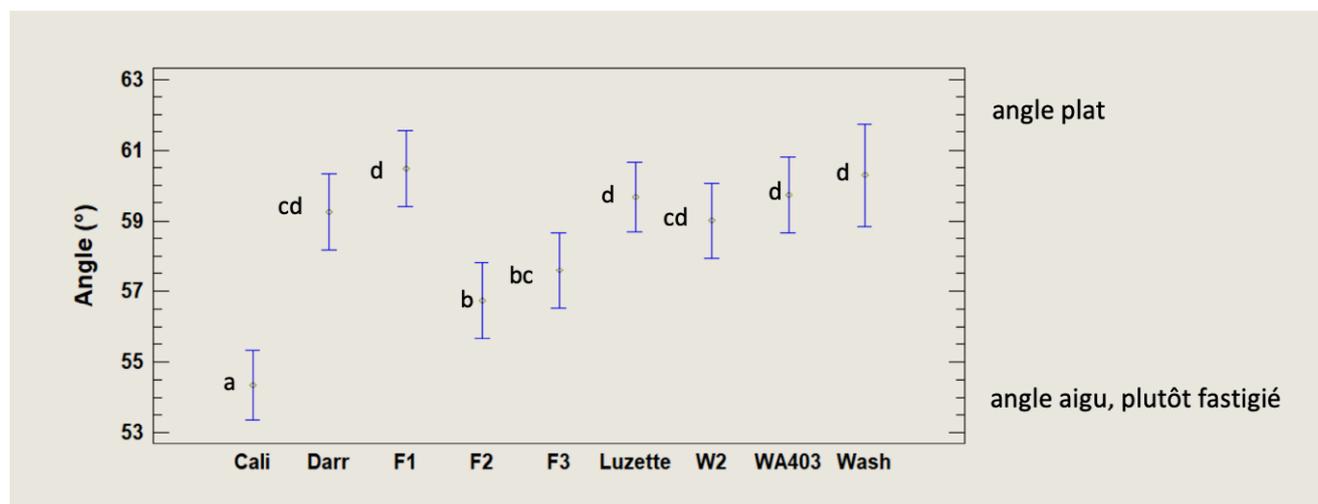
L'angle d'insertion et le nombre de branches ont des impacts directs sur la qualité du bois produit. En effet, plus les nœuds sont nombreux et gros dans une planche, plus sa qualité est faible. La grosseur des nœuds est liée à la grosseur de la branche mais celle-ci est très influencée par la croissance générale de l'arbre donc nous ne l'avons pas utilisée. La grosseur des nœuds sur une planche est aussi liée à l'angle d'insertion, une branche perpendiculaire au tronc produira un plus petit nœud et qu'une branche fastigiée, formant un angle aigu. C'est pourquoi nous avons mesuré et analysé le nombre de branches et leur angle d'insertion.

Ces deux caractères de branchaison ont été évalués 8 ans après plantation, dans 10 sites répartis dans les quatre types de milieu explorés. La différence d'angle entre les variétés extrêmes est faible. L'impact économique d'un tel écart mériterait d'être précisé. Cependant, on peut noter quelques différences entre les variétés.

Californie et, dans une moindre mesure, France 2 et France 3 se caractérisent par un angle d'insertion de branches relativement aigu tandis que les angles les plus plats se retrouvent dans les populations représentant France 1, Washington, La Luzette et le témoin de l'aire naturelle, la Seed Zone 403 (Fig. 7). Ces deux groupes de variétés diffèrent significativement et le classement est indépendant du type de milieu.

La densité de branchaison, évaluée *via* le nombre de branches recensées dans la portion de tronc comprise entre 1,30 m et 2,30 m de hauteur, est fortement corrélée à la circonférence, aussi bien au niveau site ( $R^2$  variant de 23% à 64% selon le site) que variété. Les classements des variétés obtenus pour ces deux caractères s'épousent donc logiquement. En particulier, Californie présente moins de branches que les autres.

Ce constat appelle cependant deux remarques. D'une part, l'effet génétique n'est plus significatif quand on analyse le nombre de branches corrigé de l'effet vigueur. À diamètre égal, toutes les variétés se situent au même niveau. L'amélioration de la densité de branchaison résultera donc sans doute plus d'une gestion sylvicole adaptée, par exemple une augmentation de la densité de plantation, que du choix de la variété dans la panoplie actuellement proposée aux reboiseurs. D'autre part, la faible densité de branchaison mise en évidence sur les individus, ou variétés, peu vigoureux ne signifie pas nécessairement qu'ils produisent peu de ramifications – nos données ne permettent pas d'accéder à ce caractère – mais sans doute qu'une partie d'entre elles n'atteint pas la longueur seuil, fixée à 75 cm, leur conférant le statut de branche. Ces mesures gagneraient donc à être répétées à un âge plus avancé.



↑ **Figure 7.** Angles d'insertion des branches par rapport à la verticale, mesurés à 8 ans sur 10 sites. Les variétés représentées par la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance du test de comparaison de moyennes de Tukey.

## Conclusion et perspectives

Les résultats des mesures réalisées 5 ans après la plantation montrent que les variétés françaises de Douglas présentent toutes, à part Californie, des accroissements en hauteur supérieurs au témoin américain : la Seed Zone 403. Les analyses en réseau montrent qu'il n'existe guère de différences entre ces 7 variétés en termes de croissance. De même, la qualité de leur branchaison semble comparable.

La variété Californie se distingue par des accroissements en hauteur plus faibles. Cependant, ce handicap est moindre dans les stations les plus chaudes et sèches. Cette variété peut donc être intéressante en diversification dans ce genre de contextes écologiques. De plus, dans des contextes un peu marginaux pour le Douglas et où celui-ci est plutôt envisagé comme une espèce de diversification, les accroissements de Californie sont aussi à comparer avec ceux des espèces locales.

Le réseau couvre une large palette de contextes pédoclimatiques. Des analyses complémentaires à des âges plus avancés permettront d'apporter plus d'éléments sur la plasticité des vergers français et peut-être de préconiser certains d'entre eux dans certains contextes particuliers.

Enfin, les mesures se poursuivront, au minimum jusqu'à l'âge de 12 ans pour la majorité des dispositifs. À terme, les dispositifs pourront être utilisés comme un « réseau sentinelle » pour le suivi de stress biotique et/ou abiotique. Les résultats acquis au fil du temps seront régulièrement intégrés dans la fiche de conseils d'utilisation destinée aux professionnels de la filière.

**Yves Rousselle<sup>(1)</sup>, Jean-Charles Bastien<sup>(2)</sup>, Didier Bier<sup>(3)</sup>,  
Didier François<sup>(3)</sup>, Rémy Gobin<sup>(2)</sup>, Sabine Girard<sup>(4)</sup>,  
Stéphane Matz<sup>(5)</sup>, Gwenael Philippe<sup>(5)</sup>**

(1) ONF (département RDI) – UMR BioForA

(2) INRAE Val-de-Loire – UMR BioForA

(3) ONF (DT BFC) – pôle RDI Dole

(4) CNPF/IDF

(5) INRAE Val-de-Loire – UR EFNO



© Didier François / ONF

↑ Dispositif de Villers-sous-Chalamont (25) en avril 2021, 6 ans après plantation

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient chaleureusement toutes les personnes qui ont participé à la mise en place, au suivi et aux mesures du réseau d'évaluation des vergers à graines de Douglas : pôles du département RDI ONF, collègues gestionnaires ONF, UE INRAE GBFor Orléans, UE INRAE FM Avignon, CRPF.

Nous remercions aussi les pépinières du PNRGF de Cadarache et de Peyrat le Château pour l'élevage des plants mis en place dans les dispositifs et pour les tests de sécheresse.

Nous remercions aussi les collègues de l'UMR PIAF, INRAE Clermont-Ferrand pour les études physiologiques : Têtè Barigah, Thierry Ameglio et leurs collègues.

Nous remercions enfin le ministère de l'Agriculture pour son soutien financier constant de ce réseau depuis de nombreuses années.





## OURS

La revue *RenDez-Vous techniques* est destinée au personnel technique de l'ONF, quoique ouverte à tous les lecteurs (étudiants, établissements de recherche et autres instances forestières et environnementales, notamment). Revue R&D et de progrès technique, elle vise à étoffer la culture technique au-delà des outils ordinaires de la gestion (guides sylvicoles, outils de diagnostic, etc.). Son esprit est celui de la gestion durable et « multifonctionnelle » qui, face aux défis des changements globaux, doit aussi s'adapter en contexte d'incertitudes. Son contenu : état de l'art et résultats de la recherche dans les domaines de R&D prioritaires, mais aussi porté à connaissance de méthodes et savoir-faire, émergents ou éprouvés, clairement situés vis-à-vis des enjeux de l'établissement ; le progrès technique concerne toutes les activités de l'ONF en milieu naturel et forestier, en relation avec le cadre juridique et les questionnements de la société.

### Directeur de publication

Albert Maillet

### Rédactrice en chef

Christine Micheneau

### Comité éditorial

Xavier Rousset, Albert Maillet, Xavier Bartet, Laurent Bélanger, Éric Dubois, Didier Pischedda, Stéphanie Prieur

### Conception graphique

Pollen Studio

### Réalisation

Pollen Studio

### Crédit photographique page de couverture

Eva / fotomelia.com

—

### Périodicité

4 numéros ordinaires par an

### Accès en ligne

[www.onf.fr](http://www.onf.fr)

Accès à l'ensemble de la collection : via la notice d'un numéro quelconque (Détails/collection)

### Renseignements

ONF - documentation technique et générale, boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau  
Contact :

[documentalistes@onf.fr](mailto:documentalistes@onf.fr)

### Pour soumettre un article

Contactez la rédaction : [rdvt@onf.fr](mailto:rdvt@onf.fr)

### Dépôt légal

Octobre 2022

