

# ign

N° 108

Automne 2022

## MAGAZINE

### 22\_OUTILS & DONNÉES

Des technologies  
et des arbres

### 27\_ÉCLAIRAGE

L'inventaire forestier  
s'exporte

### 30\_PORTRAIT

Laurent  
Tillon



**Au cœur  
de la forêt**



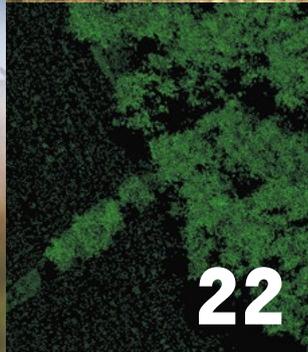
04



08



17



22



27

## SOMMAIRE

### 04\_ L'essentiel

- \_L'atlas de l'anthropocène de l'IGN
- \_Numéro spécial du « 1 Hebdo »
- \_GéoDataDays
- \_La Fabrique des géo-communs
- \_Mémento forêt

### 08\_ Le dossier

- \_L'appel de la forêt

### 16\_ Décryptage

- \_La mesure d'un arbre

### 17\_ Forêts

- \_Changement climatique : la forêt en première ligne
- \_Un suivi régulier

### 22\_ Outils & Données

- \_Lidar, intelligence artificielle : les nouveaux détectives des forêts

### 24\_ Recherche & Innovation

- \_L'inventaire forestier à l'heure du multisource

### 27\_ Éclairage

- \_Inventaire forestier : des compétences qui voyagent

### 30\_ Portrait

- \_Laurent Tillon

**ign**  
MAGAZINE

Trimestriel de l'Institut national de l'information géographique et forestière - 73, Avenue de Paris, 94160 Saint-Mandé.  
Tél. : 01 43 98 80 00, ISSN : 1624-9305 **Directeur de la publication** Sébastien Soriano **Directrice de la rédaction** Dominique Jeandot  
**Rédacteur en chef** Éric Bonneau **Comité de rédaction** M. Fulchiron, S. Wurrpillot, I. Bonhème, A. Colin, B. Piton, C. Vega, **Ont participé à la rédaction** E. Allermoz, O. Constant, D. Fidel, G. Tixier **Illustration** Matthieu Appriou **Conception éditoriale et graphique** Citizen Press  
**Couverture** IGN **Crédits photos** IGN, J. Bellavista/IGN, Gettyimages, Galica/AdobeStock **Impression** IGN **Dépôt légal** Automne 2022

Abonnez-vous gratuitement en contactant la rédaction : [abonnement@ign.fr](mailto:abonnement@ign.fr)



**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**  
Liberté  
Égalité  
Fraternité

SUIVEZ-NOUS SUR  
LES RÉSEAUX SOCIAUX



[facebook.com/ignfr/](https://facebook.com/ignfr/)



[twitter.com/IGNFrance](https://twitter.com/IGNFrance)



[linkedin.com/company/ignfrance](https://linkedin.com/company/ignfrance)



[instagram.com/ign\\_france/](https://instagram.com/ign_france/)



**Marc Fesneau**

Ministre de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire

## Forêt : le besoin de données

**O**bserver-Mesurer-Décrire-Projeter la forêt française : cette mission de l'IGN est au cœur de l'ambition gouvernementale pour la forêt française et

la filière bois en réponse aux défis du changement climatique et de la souveraineté. Son rôle multifonctionnel est essentiel pour notre société et répond à des stratégies de long terme dont l'État est et continuera à être le garant.

La filière forêt-bois compte 425 000 emplois. La forêt, premier puits de carbone terrestre, est indispensable à l'objectif d'atténuation de nos émissions de CO<sub>2</sub>. Le bois, biomatériau et biomasse renouvelables, stocke du carbone et se substitue durablement aux ressources fossiles. Les écosystèmes forestiers protecteurs contre les risques naturels (crues, avalanches, glissements de terrain, chutes de blocs...) améliorent le cadre de vie et la résilience de notre société. Ils apportent de nombreux services environnementaux (qualité de l'eau, qualité de l'air...) et sont par ailleurs les champions terrestres de la biodiversité.

Les propriétaires et les gestionnaires forestiers, mais aussi les entrepreneurs de la filière bois, ont besoin de données pour agir et prendre des décisions éclairées. Ce besoin exige de l'IGN un suivi solide et transparent de la forêt française avec des méthodes de mesure robustes.

Cette exigence devient encore plus nécessaire face aux aléas climatiques, aux maladies et

aux incendies qui impactent nos forêts. Labellisé « Enquête statistique publique », l'inventaire forestier que l'IGN met en œuvre depuis plus de 60 ans, doit poursuivre l'adaptation de ses méthodes pour rester dans les meilleurs standards internationaux. En parallèle, l'IGN investit dans la recherche de nouvelles méthodes et de nouvelles technologies, aux côtés d'autres acteurs de l'écosystème forêt-bois. L'acquisition en cours par l'IGN de

---

**« L'acquisition en cours par l'IGN de données lidar haute résolution grâce aux financements de l'État, notamment de France Relance, va y contribuer. »**

---

données lidar haute résolution grâce aux financements de l'État, notamment de France Relance, va y contribuer.

Par ailleurs l'Observatoire de la forêt et du bois, dont la création a été actée pour début 2023 à l'issue des travaux des Assises de la forêt et du bois, constitue un outil nouveau pour mieux répondre aux attentes de l'ensemble de la filière forêt-bois. Mis en place par l'IGN, en partenariat avec l'ONF, le CNPF et en lien avec les

acteurs la filière forêt-bois et l'OFB, cet observatoire sera un espace d'échange et de production en commun d'informations, de croisement, et d'analyses thématiques ou prospectives nationales et régionales nécessaire à la connaissance fine des multiples fonctions et services de la forêt et à leurs évolutions.

L'apport des données indispensables à la compréhension de la forêt et de son évolution passera par une formation renouvelée de nos forestiers dans laquelle l'IGN s'engage, à travers son école, l'ENSG-Géomatique, mais aussi son laboratoire de recherche de Nancy. Ce laboratoire, de par sa localisation et les thématiques de pointe de ses travaux, s'inscrit résolument dans les dynamiques européennes. En effet, si la France possède un des plus grands et des plus variés massifs forestiers européens, les grands défis posés à la forêt européenne le sont également à l'échelle de la France, qui compile les différents types de peuplements forestiers européens. Nous relèverons d'autant mieux ces défis, ensemble, et en collaboration avec les autres pays européens.

Dans ce numéro, l'IGN présente ses activités actuelles, ses projets de développement et ses axes de recherche pour investir les meilleures technologies qui fourniront les informations utiles aux politiques publiques mais aussi à tout acteur investi dans la filière ou s'intéressant aux enjeux forestiers et du matériau d'avenir qu'est le bois.

Bonne lecture ! ●



À LIRE

# L'IGN présente son atlas de l'anthropocène



**L'**IGN a chaussé ses bottes de sept lieues » : par cette formule lancée lors de la présentation du premier atlas de l'anthropocène de l'IGN, Thomas Lesueur, commissaire général au développement durable, désignait la transformation profonde de l'institut et « sa capacité à passer d'une carte statique à une vision dynamique de la donnée et de sa représentation ». En novembre 2021, Sébastien Soriano présentait la nouvelle boussole de l'IGN, sa volonté de changer d'échelle et son ambition de cartographier les changements accélérés de notre environnement. Le 27 septembre 2022, à l'Académie du climat, cette vision a pris la forme d'un ouvrage, *Cartographier l'anthropocène* : 84 pages de cartes illustrant l'artificialisation des sols, la mutation des forêts, l'érosion des côtes et celle de la biodiversité, les impacts des épisodes naturels

extrêmes sur notre territoire... Stéphanie Dupuy-Lyon, directrice générale de l'aménagement, du logement et de la nature au ministère chargé de l'écologie, se réjouit d'un tel atlas, qui démontre à quel point « les géodonnées sont indispensables pour piloter les politiques publiques ». Pour Bertrand Monthebert, président du Conseil national de l'information géolocalisée (CNIG), le projet de l'IGN va « outiller la démocratie avec des éléments de mesure partagés ». La diversité des invités réunis pour célébrer la sortie de cet atlas – élus, chercheurs, associations, acteurs économiques, partenaires institutionnels – témoigne aussi du succès d'une autre ambition de l'IGN, celle de rassembler les acteurs. ●

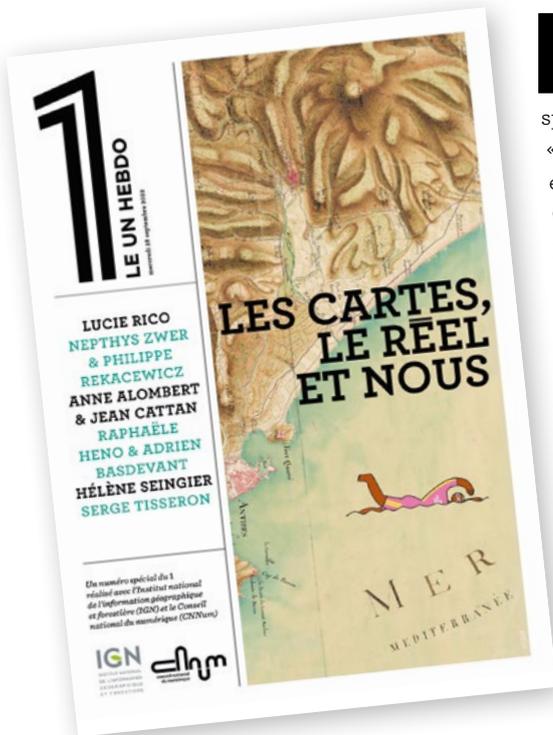


**Pour en savoir plus**

[www.ign.fr/atlas-ign-des-cartes-de-lanthropocene](http://www.ign.fr/atlas-ign-des-cartes-de-lanthropocene)

PARTENARIAT

## Numéro spécial du « 1 Hebdo »



**R**éalisé avec le Conseil national du numérique et l'IGN, un numéro spécial du *1 Hebdo* intitulé « Les cartes, le réel et nous » est paru le 28 septembre. Géographe, historien, psychiatre et journalistes questionnent l'utilité et les enjeux de pouvoir de la cartographie. La carte papier est délaissée au profit d'un « *Gépéesse* » comme l'écrit Robert Solé, qui offre, selon Serge Tisseron, « *le confort d'un chien en laisse* »... Pourtant, la carte, au-delà de l'orientation, reste un moyen de mieux se comprendre et comprendre le monde. ●

## LES CHIFFRES



17

millions d'hectares

Depuis plus d'un siècle, la superficie forestière métropolitaine augmente. En 1908, la forêt française couvrait 19 % du territoire avec près de 10 millions d'hectares. Elle en couvre désormais 31 %, avec 17,1 millions d'hectares et gagne chaque année 10 fois la superficie de Paris.

67 %

De la superficie forestière est composée majoritairement de feuillus.

54 %

D'augmentation de la mortalité des arbres en une décennie.

## La boutique IGNrandô



### Îles d'Oléron et d'Aix

Mini-carte de randonnée, mini-prix, mais elle fait le maximum. Elle tient dans la main, elle tient dans la poche et elle a tout d'une grande avec les itinéraires de grande randonnée et les informations touristiques.

**Prix : 8,70 € TTC**  
**Échelle 1 : 25 000 (1 cm = 250 m)**  
**Format plié 8 x 11 cm**



### La Guadeloupe en cinq cartes Top 25

Cinq cartes pour explorer toute la Guadeloupe et ne rien manquer de l'anse des Châteaux à la Petite Anse et de la pointe du Vieux Fort à celle de la Grande Vigie, sans oublier de rendre visite à la Soufrière ni de parcourir le parc national de la Guadeloupe. Chaque carte comprend des informations touristiques, des itinéraires de grande randonnée ainsi qu'un accès gratuit à différents services.

**Prix : 13,40 € TTC**  
**Échelle 1 : 25 000 (1 cm = 250 m)**



### Îles Saint-Martin et Saint-Barthélemy

Deux îles entre les mains avec cette carte Top 25. Rejoindre le pic Paradis à 424 m d'altitude depuis le morne de Vitet à 286 m vous demandera de changer d'île mais pas de carte. Informations touristiques, itinéraires de grande randonnée et un accès gratuit à différents services vous aideront à préparer votre séjour.

**Prix : 13,40 € TTC**  
**Échelle 1 : 25 000 (1 cm = 250 m)**



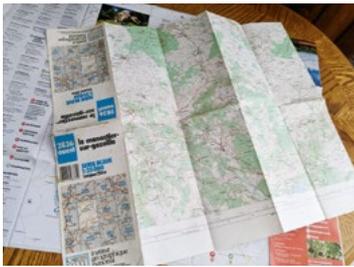
@HMRAWSTHORNE  
25 mai 2022

Today we had the first edition of the LASTIG Young Researchers Day @IGNFrance! It was a great opportunity for everyone to come together and share what we've been working on 🌍 #LYRD2022



@CECGRAND  
24 juillet 2022

Quand on tombe en panne de véhicule au tout début des vacances, qu'on est coincés dans un hameau sans aucun commerce, mais qu'on a une #carte @IGNFrance (collecter la carte 😊) #randonnée #rando #carto



# VOUS L'AVEZ DIT

Vous nous faites part de vos réflexions et questions sur les réseaux sociaux. Engageons la conversation !



@SOPHIEPENE  
5 juillet 2022

Surfaces perméables / imperméables, bâtiments, forêts (conifères / feuillus), vignes, herbacées, terres labourées, ensemencées, l'IGN alimente l'observatoire écologique des territoires. Passionnant usage du machine learning qui se prête à des analyses participatives



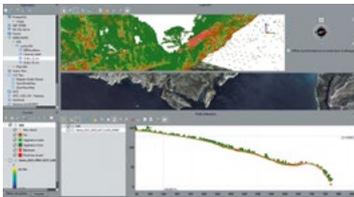
@AMANDINE\_RCR  
28 septembre 2022

Ceci est l'ouvrage le + beau et le + parlant sur l'anthropocène, la géographie, le climat et l'écologie en France. Des cartes, des chiffres, des textes justes. Bravo et merci @IGNFrance! Votre travail est essentiel 🌍



@MATHIASJ  
11 juillet 2022

Époustoufflé par la précision des données #LidarHD de l'@IGNFrance. De quoi s'amuser pendant des heures! Un potentiel infini!



@GEMENNE  
12 septembre 2022

Comment mesurer, représenter et donner à voir les transformations de l'Anthropocène ? Merci aux équipes de l'@IGNFrance pour ces échanges passionnants !



© IGN

## SALON

## GéoDataDays

**S**ous l'égide de l'Afigéo et de Décryptagéo, les GéoDataDays sont chaque année le point de rencontre de tous les professionnels utilisant les systèmes d'information géographique. Les 14 et 15 septembre, une délégation de l'IGN s'est ainsi rendue à Poitiers pour présenter ses projets en cours. La gestion de crise par les données géographiques était le fil rouge de ces journées, après un été marqué par de dramatiques incendies de forêt et des records de chaleur. Parmi les travaux présentés par la délégation : la cartographie de l'anthropocène, le « jumeau numérique » du territoire, véritable maquette 3D de la France accessible à tous dans un programme de géo-communs, mais aussi les dernières avancées du programme Lidar HD ou encore l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la réalisation de l'Occupation du sol à grande échelle. À quelques jours de la publication de son premier atlas de l'anthropocène, ces journées ont été l'occasion pour l'institut de mettre en avant sa capacité d'observation du territoire en continu pour produire des cartes thématiques sur les enjeux écologiques et appuyer les politiques publiques. ●

## DÉFIS

## La Fabrique des géo-communs a trouvé ses lauréats



**L**a Fabrique des géo-communs avait lancé le 8 avril dernier son premier appel à intrapreneurs de l'IGN. Trois intrapreneurs relevant chacun un défi ont été retenus par le jury de cet incubateur de communs à l'IGN.

- Premier défi : développer un commun des vues immersives. Il s'agira dans un premier temps de rassembler une communauté de contributeurs et d'utilisateurs, puis d'identifier les briques prioritaires auxquelles l'IGN peut contribuer.
- Deuxième défi : prévenir les risques incendie grâce aux obligations légales de débroussaillage. Les communes sont demandeuses d'assistance dans l'identification des zones concernées et d'outils pour communiquer et échanger avec leurs administrés.

- Troisième défi : faciliter l'accès aux réglementations forestières. 3,5 millions de propriétaires possèdent 12,2 millions d'hectares de forêt, soit deux tiers de la forêt française. La gestion de cet espace est encadrée par un éventail de réglementations variées, dont certaines sont difficiles d'accès. Le défi consistera à résoudre ce problème en réunissant les informations spatiales pour un pool de réglementations forestières. La Fabrique des géo-communs accompagnera ces trois intrapreneurs dans le développement de ces services publics numériques spécifiques dont la ressource est liée à l'information géolocalisée. ●

 **Pour en savoir plus :**  
[www.ign.fr/institut/resultat-appel-intrapreneur-fabrique-geocommuns](http://www.ign.fr/institut/resultat-appel-intrapreneur-fabrique-geocommuns)



## IGN VIGIE DE LA FORÊT

### Mémento forêt

**I**l est à l'automne de bonnes feuilles à tenir entre ses mains, telles celles du « Mémento forêt », qui répertorie les tendances de la forêt française issues de l'inventaire forestier national. Ces tendances ? Une forêt métropolitaine toujours en augmentation, avec 31 % du territoire ce qui, après l'agriculture, en fait la deuxième occupation du sol. La forêt française est pour moitié constituée de peuplements monospécifiques, les forêts du nord-est de la France et du Massif central étant les plus diversifiées. Toutefois la forêt est en souffrance. Si globalement la ressource nationale continue de progresser légèrement, la croissance des arbres s'est ralentie, et la mortalité a fortement augmenté du fait des conditions climatiques et des bioagresseurs. L'épicéa commun est l'essence la plus touchée après le châtaignier. L'IGN recueille des informations sur près de 190 espèces d'arbres regroupées en 70 essences, le Mémento en fait la synthèse chaque année. ●

 **Pour en savoir plus :**  
[inventaire-forestier.ign.fr](http://inventaire-forestier.ign.fr)

# L'appel de la forêt



**La tempête de 1999 et la canicule de 2003 ont marqué les forestiers. Parce qu'ils suivent de près les évolutions de la forêt française, ils ont pris conscience avant les autres des impacts du changement climatique sur les écosystèmes. L'accélération de ce phénomène conduit à un nouveau modèle de gouvernance pour mettre en commun les savoirs, les données et les intelligences, et construire à plusieurs un Observatoire de la forêt et du bois.**



« **D**epuis 1958 l'inventaire permanent des ressources forestières nationales (IFN), intégré à l'IGN dès 2012, est en constante évolution. D'une part il s'adapte aux politiques publiques, d'autre part les nouvelles techniques, les nouveaux outils, comme la pré-qualification des photos aériennes par l'intelligence artificielle ou le recours au lidar pour calculer les volumes de bois enrichissent nos connaissances. Mais le terrain reste déterminant. On ne peut étudier la diversité des essences ou les sols depuis le ciel », explique Stéphanie Wurpillot, cheffe du service de l'information statistique forestière et environnementale (SISFE) de l'IGN.

Du suivi du bois vivant sur pied aux relevés floristiques, les forestiers de l'IFN recueillent, tous les ans et dans toute la France, une quantité impressionnante de données. « Sans arrêt, de nouvelles thématiques émergent : nous démarrons cet automne un suivi sur le renouvellement des peuplements et la pression exercée par les grands mammifères sauvages. Nous pouvons profiter de nos déplacements sur le terrain pour collecter de nouvelles informations et enrichir la connaissance », souligne la cheffe de service. En plus de ses missions d'inventaire, de cartographie, d'expertise sur la forêt, l'IGN compte désormais fédérer ses partenaires et construire avec eux un nouvel outil partenarial, autour de la mise en commun des données. Cette ouverture a un nom : l'Observatoire de la forêt et du bois.

## L'Observatoire de la forêt et du bois

Réunissant, d'octobre 2021 à mars 2022, près de 480 participants au sein de groupes de travail composés d'élus, de représentants de la filière, de scientifiques, d'organisations non gouvernementales... les Assises de la forêt et du bois ont construit une vision ambitieuse et partagée pour la forêt française et fixé quatre grandes orientations : relever le défi de la connaissance pour dresser un état détaillé de la forêt, suivre et anticiper ses évolutions face au changement climatique; poursuivre le financement du renouvellement de forêts plus résilientes et riches de biodiversité; investir massivement pour soutenir l'innovation et la compétitivité de la filière industrielle bois; et enfin expérimenter de nouvelles formes de dialogue national et territorial pour la conduite des politiques forestières. Une des premières réponses concrètes a été de demander à l'IGN de constituer, en partenariat avec l'Office national des forêts (ONF), le Centre national de la propriété forestière (CNPF) et en lien avec l'Office français de la biodiversité (OFB) et les acteurs de la filière forêt-bois, un Observatoire de la forêt et du bois.

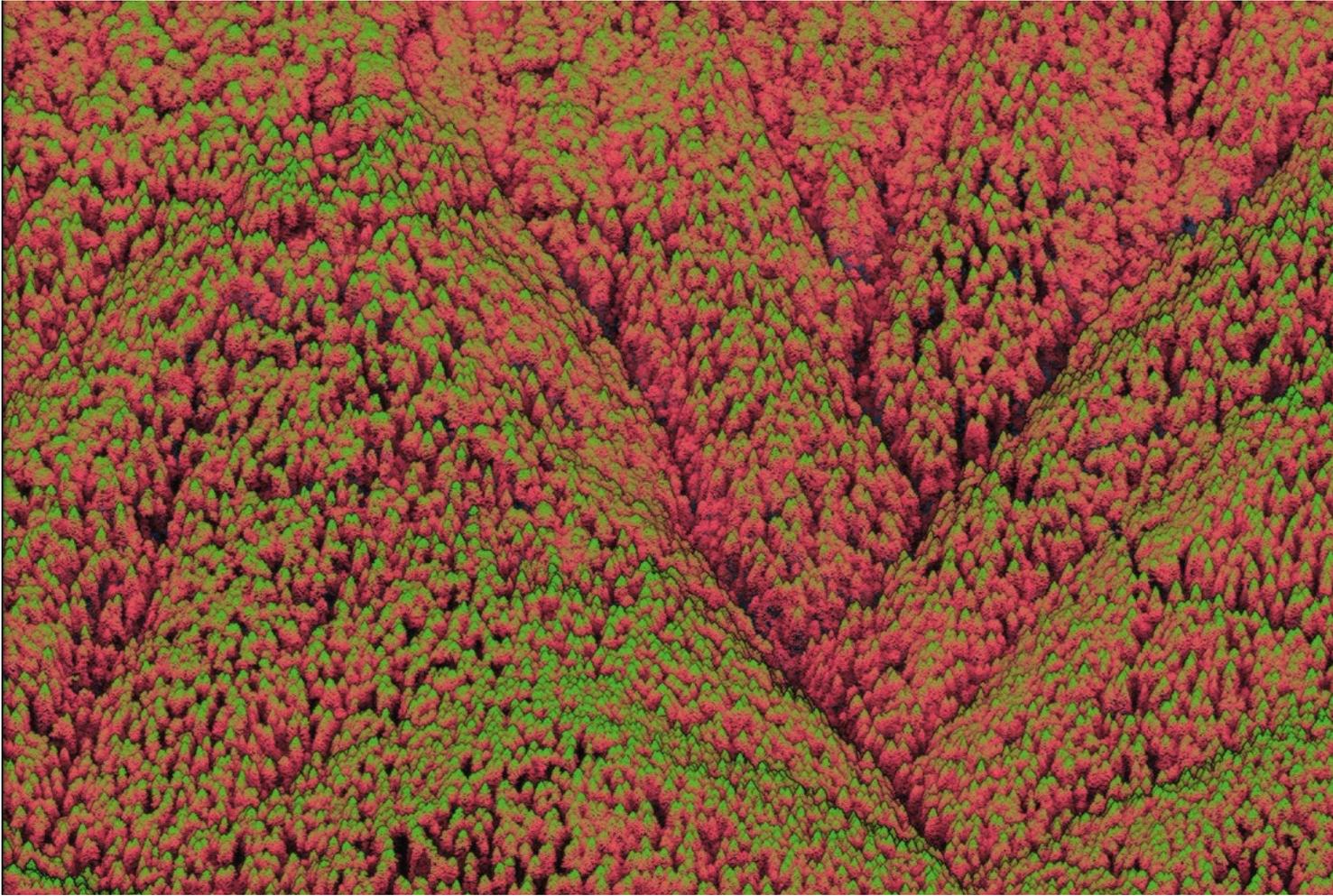


© IGN

« **L'Observatoire de la forêt et du bois apporte une vision globale pour mieux anticiper les bouleversements du changement climatique sur l'écosystème forestier. »**

**Roland de Lary**





© IGN

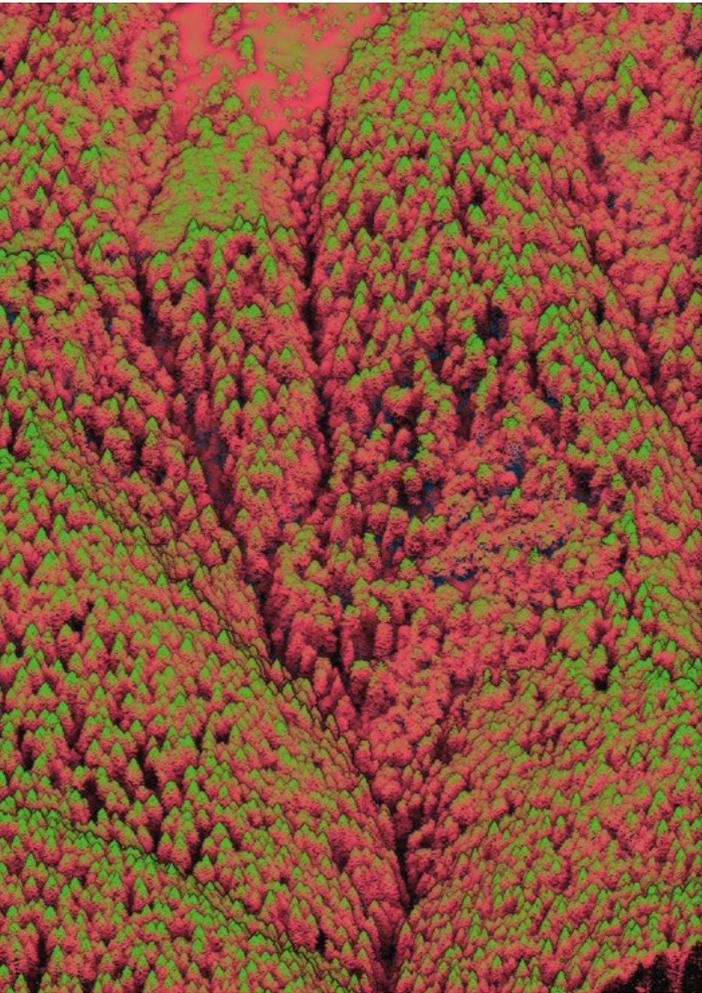
## Croiser les données

« Nous sommes impatients de croiser notre expertise avec celle de l'IGN », explique Albert Maillet, directeur des forêts et des risques naturels à l'ONF. Depuis 2017, les deux organismes échangent de nombreuses informations dans le cadre d'un partenariat stratégique. Ainsi, par exemple l'ONF, recoupe sur le terrain les données lidar collectée par les avions de l'IGN : images 3D et mesures de terrain servent ensuite à modéliser des forêts à partir de placettes<sup>1</sup> de référence. « Ces informations ont vocation à nourrir l'Observatoire, mais nous souhaitons aussi nous y alimenter. Aujourd'hui, alors que nos descriptifs ne cessent de s'enrichir, avec de nouveaux paramètres environnementaux, indices de biodiversité, facteurs de risques naturels... nous sommes un peu obligés d'aller à la pêche aux données. L'Observatoire va faciliter le travail en offrant un réceptacle commun et fluidifier l'échange d'informations entre les différents acteurs », se réjouit Albert Maillet. Roland de Lary, directeur général du CNPF, partage cet enthousiasme. « L'Observatoire va nous apporter une vision globale de la forêt, pour mieux anticiper les bouleversements du changement climatique sur l'écosystème forestier », analyse-t-il. Ses attentes sont importantes : « Cet outil doit être dynamique et prédictif. Il doit mettre la forêt dans son contexte en apportant les éléments de réponse aux questions suivantes : quel est l'état de conservation des forêts ? Peuvent-elles répondre à la demande en bois ? La reconstitution des peuple-

« L'Observatoire est bien plus qu'un portail, il s'inscrit sur le temps long et entend faire de la donnée forestière un commun. »

Antoine Colin





ments dégradés favorise-t-elle le stockage de carbone ? Quels sont les itinéraires de boisement ? Comment se portent les sols forestiers ? Combien de taillis sont convertis en futaie ? Quelle est la progression de l'épidémie de scolytes ?... Le CNPF entend apporter à l'Observatoire les données anonymes de gestion de la forêt privée, qui couvre 75 % du couvert forestier français, et utiliser les données communes pour mener des projets partagés de gestion durable. »

## Un système ouvert

Antoine Colin, chef du département d'analyse des forêts et des haies bocagères à l'IGN, doit donner corps aux vœux de ses partenaires : « L'Observatoire est bien plus qu'un portail. Il s'inscrit sur le temps long et entend faire de la donnée forestière un commun. » Il ne s'agit pas d'un nouvel outil de l'IGN mais d'un bien en partage, à construire ensemble. Le calendrier est lui aussi à définir même s'il existe déjà quelques points d'étape : la mise en place d'une gouvernance, de groupes de travail thématiques et un premier démonstrateur web au second semestre 2023. « La mesure du succès de l'Observatoire sera son attractivité et son élargissement, progressif, à de nombreux utilisateurs et usagers », conclut Albert Maillat. ●

1. En phytosociologie, une placette est une surface délimitée et localisée avec précision, dans laquelle des inventaires de végétation (parfois de microfaune) sont effectués plusieurs fois durant une période.

### 3 QUESTIONS À



Jean-Michel Servant

Président de France Bois Forêt

#### Quelle part compte prendre France Bois Forêt dans l'Observatoire de la forêt et du bois ?

Lors des Assises de la forêt, notre interprofession a contribué à faire émerger une vision commune des enjeux liés au changement climatique. Pour poursuivre ce travail collectif, nous nous sommes engagés avec les ministères chargés de l'Agriculture et de l'écologie, l'ONF, le CNPF et l'OFB à contribuer à un observatoire partenarial de la forêt et du bois. Nous sommes, en ce moment, avec nos membres, avec l'IGN, en train de clarifier les besoins prioritaires de connaissance partagée.

#### Comment travaillez-vous avec l'IGN ?

Nos organismes sont déjà étroitement liés et c'est une très bonne chose. L'IGN est membre partenaire du conseil d'administration de France Bois Forêt et je suis membre du conseil d'administration de l'IGN. Les données, l'expertise et la connaissance que l'IGN produit sur la forêt nous servent à connaître la disponibilité de la ressource en bois, afin de sécuriser l'approvisionnement de la filière industrielle. Pour cela l'inventaire forestier est un instrument indispensable. L'IGN apporte la dimension de connaissance statistique, mais aussi la déclinaison spatiale territoriale. Nous avons d'ailleurs besoin d'aller encore plus loin.

#### Comment ?

Le programme Lidar HD que porte l'IGN constitue une première étape vers l'usage d'outils numériques dynamiques, nécessaires pour analyser des scénarios de prélèvement, de crise sanitaire, de crise climatique et regarder l'impact de ces événements sur la gestion forestière, la sylviculture. Il faut rapidement mettre en chantier une réflexion sur un tel outil paramétrique complémentaire. Un jumeau numérique de la forêt pourrait apporter un grand nombre de réponses à nos besoins et accélérer la transformation numérique des métiers de la forêt. C'est aussi un enjeu pour la filière.



© Jean-Claude Flaccomio - WeGo Productions

## La forêt, sentinelle du climat

En 2022, plus de 65 000 hectares de forêts françaises desséchées par le manque de pluie et les vagues de chaleur estivales sont partis en fumées. Largement victime du changement climatique, la forêt représente pourtant, grâce à la séquestration du carbone, un des meilleurs moyens pour en limiter les effets.

« **L**orsque je parcours les 17 kilomètres qui séparent la mairie de La Roquebrussanne de la Maison du parc, j'observe, année après année, la forêt dépérir », confie Michel Gros, maire de cette commune varoise de 2 500 habitants et président du parc naturel régional de la Sainte-Baume. « Labellisée Forêt d'exception par l'ONF, la hêtraie millénaire du parc est désormais menacée par le déficit de pluie, des températures extrêmes, le changement de direction des vents. Les arbres sèchent, cassent, les jeunes pousses ont du mal à émerger », s'inquiète l' élu. Le parc naturel de 84 200 hectares est constitué à 80 % d'espaces naturels, essentiellement boisés, d'une grande diversité : chênaies, forêts d'ifs et de tilleuls, pinèdes... « La Sainte-Baume est le château d'eau de la Basse-Provence, et ses forêts stockent des tonnes de carbone. Ces services écosystémiques sont insuffisamment reconnus », plaide Michel Gros, qui est également président de l'association des maires ruraux du Var et souhaiterait que ces aménités rurales soient davantage prises en compte dans les politiques publiques.

### Compter le CO<sub>2</sub>

Le service que rendent les forêts en stockant le carbone est un service précieux qui fait l'objet d'une évaluation

précise. Chaque année, sur le terrain, les techniciens forestiers de l'IGN mesurent le diamètre et la hauteur des arbres pour en calculer le volume. « Nous sommes ainsi en mesure de produire, grâce à des coefficients de conversion du volume de bois en tonne de carbone (qui diffèrent selon les essences et leur localisation), une description du stock de carbone », explique Antoine Colin, chef du département d'analyse des forêts et des haies bocagères à l'IGN. Au moyen de carottages peu profonds dans les troncs, les forestiers examinent les cernes de croissance sur cinq ans. « Ces données nous renseignent sur leur dynamique récente de séquestration du carbone. Elles alimentent des modèles prospectifs que nous faisons tourner sur différents scénarios de développement du secteur forêt-bois plus au moins axés sur la mobilisation des bois... Ces modèles intègrent également l'effet du climat sur la croissance des arbres. Il subsiste évidemment beaucoup d'incertitude, que nous nous efforçons de documenter à défaut de pouvoir toujours les réduire », détaille Antoine Colin. À ce jour, la forêt française absorbe environ 50 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Cette information alimente la comptabilité carbone de l'État. Pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050, la France s'est dotée d'une Stratégie nationale bas carbone (SNBC)

# « Quand la forêt est pleine de vie, elle prend soin de nous. »

**Michel Gros**



© Aude Mottiaux - PNR Sainte-Baume

révisée tous les cinq ans, et dont la réussite repose en partie sur ces indicateurs. La forêt reste un important moyen d'atténuer nos émissions puisque, entre 1985 et 2020, le stock de bois sur pied a progressé de 50 %. « Outre la SNBC, nos données permettent de dresser un état de l'art pour éclairer le débat. Elles alimentent le reporting de la France auprès de l'Europe sur ses émissions de gaz à effet de serre, et contribuent ainsi à l'orientation de la politique de la gestion de la forêt », résume Antoine Colin. À l'échelle locale, l'estimation de la séquestration carbone se fait dans le cadre d'un plan climat-air-énergie territorial (PCAET).

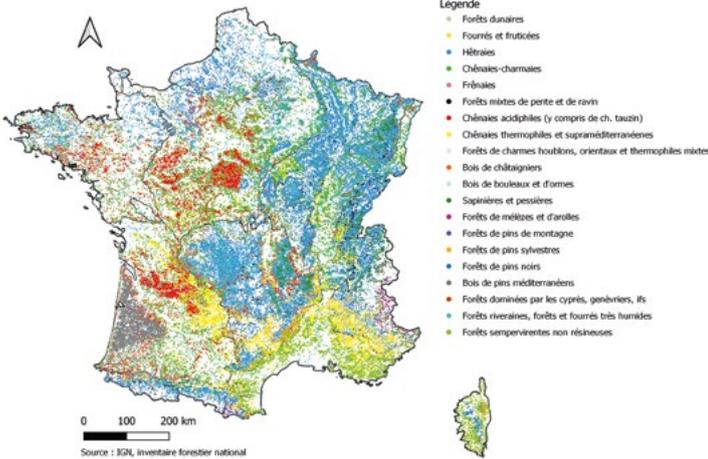
## Gérer la forêt

« Quand les bousquetiers ont arrêté de fabriquer du charbon, que les fours à cade n'ont plus servi à récolter l'huile du genévrier, que les chèvres et les moutons ont cessé de prélever la dent du troupeau, la forêt s'est ensauvagée. Sans

entretien, elle s'est refermée sur elle-même. Aujourd'hui, La Roquebrussanne est menacée par sa forêt », raconte Michel Gros. En 1989, un incendie de 1 000 hectares de forêt s'était arrêté sur les coteaux, balayant le nord-est du village. « Ces coteaux sont maintenant urbanisés, et après l'incendie, des pins ont colonisé la chênaie rendant plus grand encore le péril », insiste le maire. Pour parer la menace, avec l'aide du centre régional de la propriété forestière de Provence-Alpes-Côte d'Azur, la mairie est parvenue à identifier et regrouper une dizaine des propriétaires privés de cette forêt au sein d'une association syndicale libre. « Ils peuvent ainsi adopter un plan simple de gestion : quelques coupes, le débroussaillage, la remise en culture de quelques espaces ouverts et le retour des animaux vont protéger le village. Non gérée, la forêt est un danger. Mais quand elle est pleine de vie, elle prend soin de nous », conclut l'élu. ●

## Puits ou source de carbone ?

Les forêts, lorsqu'elles sont gérées durablement, séquestrent le carbone. Leur bilan carbone est positif lorsque la production biologique (durant laquelle le CO<sub>2</sub> est capturé lors de la croissance des arbres) est supérieure aux pressions (mortalité, perturbations naturelles comme les incendies) et prélèvements qui libèrent le carbone. Le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa) est une association chargée par le gouvernement de réaliser les inventaires nationaux d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. Le Citepa dresse le bilan carbone de la forêt en prenant en compte l'ensemble des pressions et des émissions de la filière, comme celles émises par les engins sylvicoles et les industries du bois, du papier et du carton ou de l'énergie, et en les rapportant aux volumes de stockage évalués par l'IGN... À ce jour, le solde est positif et la forêt française joue bien son rôle de puits de carbone, mais depuis quelques années le puits de carbone de la forêt est contraint par les épisodes climatiques et les crises sanitaires qui se multiplient.



# Qualifier l'état de la forêt

Opérationnel sur tout le territoire depuis 2016, le dispositif de suivi temporel des habitats forestiers (STHF), testé dès 2011 par l'IGN, évalue l'état de conservation des habitats forestiers et leur évolution à l'échelle nationale.

« **A**vec le suivi temporel des habitats forestiers, nous examinons l'ensemble du milieu, quelle que soit la saison », résume Ingrid Bonhême, référente écologie forestière de l'IGN. Le STHF s'intéresse à une donnée complexe, le type d'habitat forestier naturel. Cette donnée est déterminée grâce aux informations sur les sols, la flore, les essences d'arbres, la zone climatique, l'exposition... déjà relevées par l'inventaire forestier national. « En synthétisant toutes ces informations observées sur les placettes, nos forestiers déterminent un type d'habitat. Il en existe plus de 500 en France », précise la spécialiste. Par habitat, on désigne ce que serait la forêt à un endroit donné, dans des conditions environnementales données (pluviométrie, température...) si on avait laissé faire la nature. L'écart entre ce qu'on voit et ce qui aurait été sans l'intervention de l'homme détermine ce que l'on appelle l'état de conservation du milieu naturel. « Ainsi, une hêtraie acidiphile à houx dans laquelle on rencontre, à la place du hêtre, essentiellement du sapin de Douglas, présente un mauvais état de conservation », explique Ingrid Bonhême. « Le STHF enrichit énormément nos connaissances sur les habitats naturels. Il faudrait disposer de tels dispositifs pour d'autres milieux, comme les prairies par exemple », souligne Julien Touroult, directeur de PatriNat, le centre d'expertise et de données sur la nature (service commun de l'OFB et du Muséum national d'Histoire naturelle). PatriNat coordonne le rapportage à l'Union européenne sur l'état de conservation des habitats naturels ainsi que la base de données nationale du réseau Natura 2000, qui, en forêt, représente environ 3,3 millions d'hectares, soit

19 % de la forêt française. « La demande en data écologique ne fait qu'augmenter : il est indispensable de poursuivre et renforcer les séries longues de données. Avec l'IGN, nous travaillons en bonne intelligence à l'analyse et à la diffusion des données sur la biodiversité. Il faut encore accélérer pour les rendre totalement accessibles pour tous les usages », plaide Julien Touroult. ●

## 3 QUESTIONS À



Claire de Kermadec

Cheffe de projet connaissance au ministère chargé de l'écologie (DGALN, direction de l'eau et de la biodiversité)

### Quelle est l'utilité du suivi temporel des habitats forestiers (STHF) ?

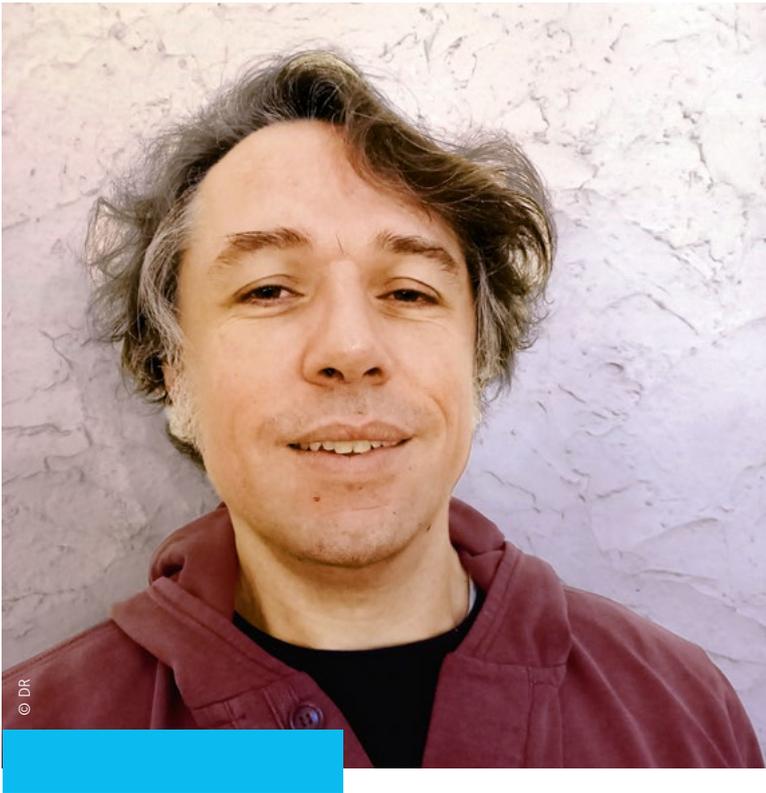
Le STHF est un des suivis les plus anciens dont nous disposons. Il contribue à répondre à nos obligations de rapportage européen sur l'état de conservation des habitats forestiers d'intérêt communautaire et les mesures prises pour leur préservation. Au-delà de nos obligations de rapportage, la surveillance de ces habitats constitue un thermomètre précieux qui nous renseigne sur la santé des milieux et des espèces et nous permet d'anticiper un éventuel basculement.

### S'agit-il d'un programme de surveillance ?

Le STHF nous aide à comprendre les tendances actuelles et passées des habitats forestiers et ainsi leur dynamique générale. Ces éléments sont indispensables pour prendre des décisions éclairées et mesurer les efforts à fournir pour leur préservation. Il y a deux ans, nous avons initié un programme de surveillance de la biodiversité terrestre dont le périmètre d'intervention est en cours de définition par PatriNat (le schéma directeur du programme sera diffusé au printemps). Le STHF va très certainement intégrer ce programme national. Par sa qualité, en matière de méthodologie statistique comme de recueil d'informations sur le terrain, il représente un modèle à suivre.

### Peut-il éclairer d'autres politiques publiques ?

La Commission européenne travaille sur un règlement de la restauration de la nature qui va s'imposer à nous. Ce texte sera assez contraignant et concerne également la forêt. Disposer d'un outil tel que le STHF nous rend confiants sur notre capacité à développer de nouveaux indicateurs. Nous sommes très heureux d'avoir à nos côtés un partenaire tel que l'IGN, à la fois sérieux et souple, qui sait s'adapter aux besoins des politiques publiques tout en étant force de proposition.



## La statistique appliquée à l'environnement

**Guillaume Chauvet**, enseignant-chercheur à l'École nationale de la statistique et de l'analyse de l'information (Ensa), est également membre de la section inventaire forestier du conseil scientifique et technique de l'IGN.

### Comment en êtes-vous venu à vous intéresser à l'inventaire forestier ?

**Guillaume Chauvet** : La statistique est au cœur de l'inventaire forestier national (IFN). J'avais assisté à une présentation de l'inventaire forestier lors des Journées de méthodologie statistique de l'Insee, et son plan de sondage évoque celui du recensement de la population. Les deux méthodes d'échantillonnage rotatif se ressemblent. On peut dire que l'IFN est l'Insee de la forêt. En outre, je suis convaincu, face au changement climatique, que la forêt représente un enjeu important. Son étude satisfait mon intérêt pour l'environnement et nourrit ma curiosité de statisticien. Les travaux de l'inventaire forestier me donnent l'opportunité d'examiner un nouvel aspect de l'application des méthodes

sur lesquelles je travaille. La statistique n'est pas une simple comptabilité. C'est l'étude d'un tout à partir d'une partie. De la population d'une ville à partir d'un échantillon, de la forêt à partir d'arbres sur une placette.

### On compte les arbres comme on compte les gens ?

**G. C.** : Pour compter les gens, il faut savoir où ils habitent, accepter de se heurter au refus de répondre, corriger les biais. Les arbres facilitent les enquêtes et donnent des mesures plus objectives. La principale différence c'est que l'Insee s'intéresse à une population dont le nombre est fini, ce qu'on appelle une population discrète ; tandis que l'IFN évalue une population continue, c'est-à-dire un territoire sur lequel on échantillonne des points. La

### D A T E S C L É S

#### **14 décembre 2007**

Thèse de doctorat en statistique, Université de Rennes 2

#### **28 novembre 2014**

Habilitation à diriger des recherches, Université de Rennes 1

#### **14 juin 2018**

Lors des 13<sup>es</sup> Journées de méthodologie statistique de l'Insee, découvre, grâce à une présentation de François Morneau, le dispositif statistique de l'inventaire forestier national français.

difficulté réside dans le fait qu'à partir de cet échantillonnage de points on enquête des placettes et des arbres. Il faut donc tenir compte de ce changement d'objet pour arriver à des estimations fiables sur la population qui nous intéresse.

### S'agit-il d'un savoir-faire particulier ?

**G. C.** : Les compétences en matière d'échantillonnage et d'estimation se font de plus en plus rares. Aujourd'hui, la statistique se concentre davantage sur les méthodes de traitement des données que sur les manières de les sélectionner. Pour un problème donné, par exemple évaluer l'impact de la canicule sur une variété d'arbre, on va privilégier des estimations sur petit domaine, des méthodes de traitement de données à échantillon constant. On mise beaucoup sur l'intelligence artificielle. Mais l'expertise humaine ne peut pas être remplacée partout. Nous devons aller chercher les compétences en dehors de la France. Avec Olivier Bouriaud, du Laboratoire d'inventaire forestier (LIF), je co-encadre la thèse d'une doctorante vietnamienne, Trinh Duong, qui porte précisément sur les travaux d'échantillonnage et d'estimation de l'inventaire forestier. ●

# La mesure d'un arbre

Parfois, c'est l'arbre qui dévoile la forêt. Sur les placettes identifiées par l'IGN, quelques mesures suffisent à transformer un arbre en données forestières. 15 000 placettes de 25 mètres de rayon sur les 100 000 identifiées font l'objet d'un inventaire terrain.

1

## Le pentaprisme

Le pentaprisme, ou compas optique de Wheeler, sert à mesurer le diamètre à différentes hauteurs d'un arbre sur pied.



## 2 Le ruban

La circonférence à 1,30 m du sol est mesurée avec un mètre ruban. Le diamètre et la hauteur d'un arbre permettent de déterminer le volume de bois pour une essence donnée. Par extrapolation statistique, le volume des arbres de la placette rapporté à la surface de la placette donne le volume à l'hectare, soit par échantillonnage le volume d'une forêt.

1,30 m

3

## La tarière

À l'aide d'une tarière, une carotte est prélevée sur le tronc de l'arbre, à 1,30 m de hauteur. L'espacement des cernes renseigne sur ses cinq dernières années de croissance. À partir de ce prélèvement peu profond, on peut estimer la production des arbres vivants de la forêt, c'est-à-dire évaluer de combien la forêt a poussé sur les cinq dernières années.



4

## Le PDA

Les données sont enregistrées dans une application mobile.



5

## Le vertex

Les dendromètres vertex utilisent les ultrasons pour mesurer les hauteurs, les angles et les distances même au travers d'une végétation dense. Le forestier relève la hauteur totale de l'arbre.





f

t

in

## CHANGEMENT CLIMATIQUE : la forêt en première ligne

Après une longue période d'embellissement, la forêt française subit sans surprise les affres du réchauffement climatique. La question de son adaptation est au centre des discussions concernant les stratégies à adopter. Pour y répondre, il faut connaître le plus finement possible ce qu'on y trouve, ce qui s'y passe et comment ces espaces vivants évoluent dans le temps.

© J. Puisseux/IGN



# « Gérer une forêt dans un contexte de climat changeant, c'est aussi composer avec de l'incertitude. »

Julien Boullie



## Histoire d'arbres

Avec 17 millions d'hectares de forêt, la France n'avait plus été aussi boisée depuis le Moyen Âge. Près de 11,2 milliards d'arbres couvrent un tiers du territoire métropolitain, plaçant le pays au quatrième rang européen après la Suède, la Finlande et l'Espagne. Pourtant, l'« or vert » n'a pas toujours été si florissant.

Petit retour en arrière. Les débuts de l'agriculture au néolithique et le développement de la sédentarité entraînent les premiers défrichements. Ceux-ci s'intensifient avec l'arrivée des Romains. Les déboisements massifs provoquent la multiplication des terres agricoles et les récoltes de bois indispensables à la vie quotidienne. La Renaissance se caractérise par d'importants défrichements, cette fois-ci pour servir la construction navale. Ces exemples témoignent des liens étroits et anciens qu'entretiennent le couvert forestier et l'activité humaine. En parallèle, une vision plus protectrice du patrimoine forestier émerge dès le XIV<sup>e</sup> siècle. « *L'ordonnance de Brunoy est en quelque sorte l'ancêtre de notre code forestier. Elle est édictée en 1346 par Philippe VI de Valois pour prévenir toute pénurie de bois* », confirme Manuel Fulchiron, directeur adjoint, responsable Forêt, à l'IGN.

Cette politique de conservation devient une constante en France : « *L'ordonnance de Colbert en 1669, la création de l'École des eaux et forêts à Nancy en 1824 puis du code forestier en 1827 illustrent ce mouvement de préservation qui s'amplifiera tout au long du XX<sup>e</sup> siècle* », selon Manuel Fulchiron. Résultats, avec en sus les effets d'une déprise agricole certaine, la forêt gagne du terrain : de 1850 à aujourd'hui, sa superficie a doublé.

## Des arbres menacés par les nouvelles conditions climatiques

Mais après des décennies d'embellie, les bois entrent à nouveau dans une zone de turbulences. En cause ? Le changement climatique. Là encore, l'influence humaine n'y est pas étran-

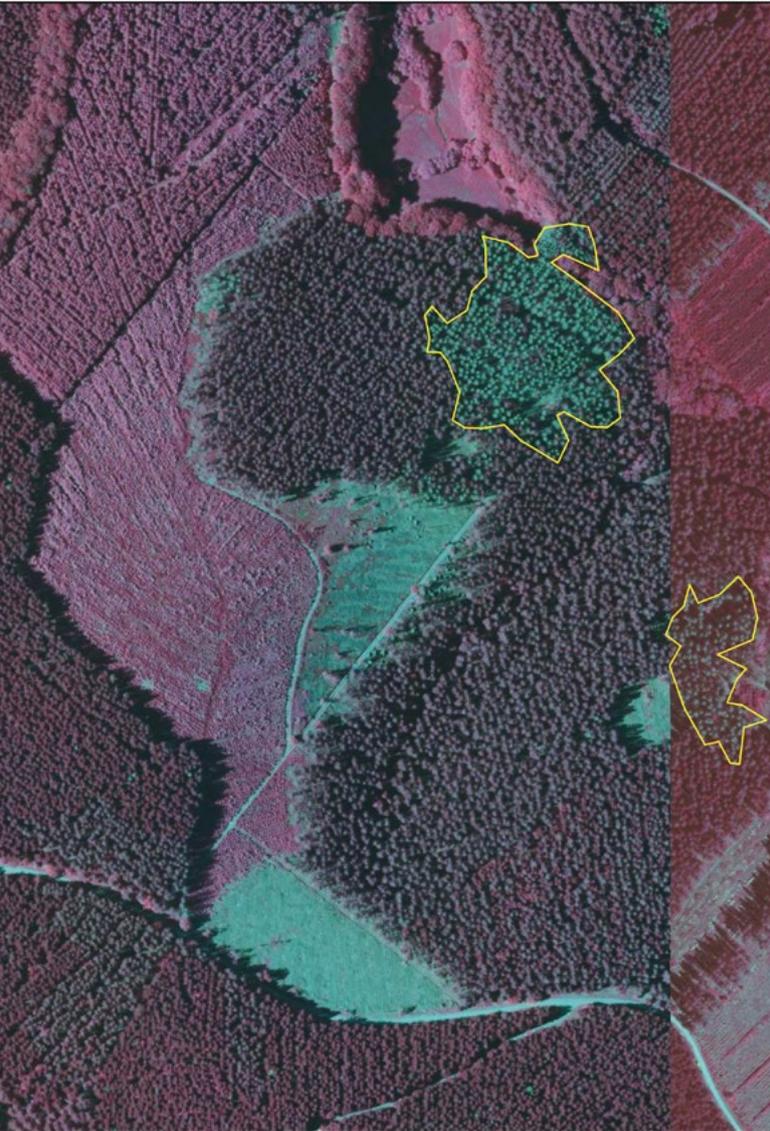


Ortho-image en proche infrarouge montrant les atteintes de la forêt par les scolytes.

gère, induisant des évolutions aussi rapides que néfastes de l'environnement. « *Dans sa mission d'appui aux politiques publiques, l'IGN est un informateur objectif pour qualifier ce bouleversement. L'institut produit, collecte, valorise et diffuse des indicateurs et des données de référence avec une double dimension géographique et forestière, à l'échelle nationale. L'un des enjeux est de cerner les facteurs de renouvellement des peuplements. Les gestionnaires forestiers peuvent également se saisir de ces informations afin de définir des orientations de gestion pour pallier le fait que des espèces d'arbres ne sont ou ne seront plus adaptées aux conditions climatiques* », confirme Magali Jover, chargée de relations partenariales et institutionnelles sur la thématique Forêt à l'IGN.

## Les massifs forestiers sous pression

Que disent exactement ces indicateurs statistiques issus de l'inventaire forestier de l'IGN ? « *On constate une aug-*



mentation de 30 % du stock d'arbres morts de moins de 5 ans, un dépérissement de certaines essences, une baisse de la production de bois. Les hivers doux favorisent les attaques de scolytes. Les risques d'incendie augmentent », alerte Manuel Fulchiron. Autrement dit, si la forêt grandit chaque année de quelques dizaines de millions de mètres cubes, les massifs forestiers sont sous pression.

Les forestiers ont anticipé ces évolutions et des pistes existent pour s'adapter à cette nouvelle donne. Julien Boullie, directeur adjoint Forêt et risques naturels à l'ONF : « La stratégie pour accroître la résilience des arbres s'appuie sur la notion de "forêt mosaïque". Elle consiste à varier les essences, diversifier les peuplements qui dépérissent en misant sur leur partie encore saine pour préserver l'ambiance forestière, introduire des provenances et des essences plus méridionales. Mais gérer une forêt dans un contexte de climat changeant, c'est aussi composer avec de l'incertitude, de façon raisonnée et documentée dans le temps. » ●

### 3 QUESTIONS À



Stéphanie Wurpillot

Cheffe du service de l'information statistique, forestière et environnementale de l'IGN

#### Quel est le rôle de l'inventaire forestier ?

Collecter et diffuser des données statistiques. Il dresse un état des lieux de la forêt métropolitaine, appréhende son évolution dans le temps et évalue ses potentialités. Nos indicateurs constituent un socle de connaissances pour une gestion durable des forêts françaises.

#### Comment a-t-il évolué au fil du temps ?

L'inventaire forestier a été créé en 1958 par le général de Gaulle. Dès 1960, il a été réalisé par département. Mais la tempête de 1999 - avec 140 millions de mètres cubes abattus en France, record absolu à ce jour en Europe - a imposé un changement de méthode. Par la suite, nous avons réalisé un inventaire en continu à l'échelon du territoire métropolitain, facilitant une mise à jour annuelle des résultats. L'IGN est en permanence à l'écoute de ses partenaires pour adapter l'inventaire forestier national aux problématiques actuelles, et servir les politiques publiques qui tentent de les résoudre.

#### Quels sont ces nouveaux besoins ?

Des indicateurs plus fréquents, utilisables à l'échelle locale (parc naturel régional, massif forestier, etc.), plus personnalisés, avec de nouvelles thématiques (renouvellement des peuplements, tassement des sols, etc.). Cet hiver, nous adoptons le protocole pour suivre le renouvellement des peuplements et la pression des grands ongulés.



© Guillaume Le Berre

## P R O J E T S

# Un suivi régulier

En collectant des données statistiques aux quatre coins du territoire, l'IGN fournit un baromètre de la santé de la forêt française. Des indicateurs qui sont également précieux pour construire durablement son futur.

## Des nouvelles données arrivent

Face aux multiples défis posés par le réchauffement climatique, l'IGN s'équipe de nouvelles boussoles. Deux sources de données supplémentaires compléteront bientôt ses dispositifs de suivi. D'abord une « version 3 » de la BD Forêt<sup>1</sup>. « Une cartographie plus fine, produite en partie par intelligence artificielle. L'IA allège la phase de photo-interprétation, donc diminue les coûts de production et accélère la diffusion des données aux utilisateurs », décrit Thierry Saffroy, chef de projet au service des projets et des prestations de l'IGN.

Deuxième avancée majeure, en matière de cartographie : l'institut a lancé le programme Lidar HD (basé sur l'émission à haute densité de faisceaux laser) dans le cadre du plan de relance. « Ce chantier d'une ampleur inédite offrira d'ici à 2025 une cartographie 3D de l'ensemble du territoire français (hors Guyane). Elle permettra des analyses plus fines et plus

exhaustives, notamment des forêts », souligne Marion Dumont, quant à elle consultante au service des projets et des prestations de l'IGN.

Concrètement, cette technologie décrit en détail – même sous couvert végétal – le chevelu hydrographique et les différents étages de la végétation. « Il s'agit d'un puissant outil d'analyse et de suivi des évolutions du territoire. Cela va considérablement accroître notre connaissance de la forêt pour mieux prévenir les risques liés au bouleversement climatique », témoignent en chœur les deux experts.

## Vers une forêt plus résiliente ?

L'ambition affichée par l'IGN et ses partenaires est de mieux connaître la forêt pour prendre les meilleures décisions en faveur de sa résilience et conserver un écosystème fonctionnel. Mais s'il manquait un maillon pour aller plus loin ? C'est le sentiment de Nicolas Picard, directeur d'Ecofor, groupe-ment d'intérêt public qui anime des programmes de re-



# « Les organismes de gestion forestière devraient intégrer davantage d'indicateurs sur la perception que les Français ont de la forêt. »

Nicolas Picard



cherche sur la gestion des écosystèmes forestiers. Le scientifique estime que « *les organismes de gestion forestière devraient intégrer davantage d'indicateurs sur la perception que les Français ont de la forêt. Quelles sont leurs attentes, leurs connaissances, comment ils appréhendent son évolution ?* » Ces informations favoriseraient d'abord une communication grand public plus ciblée pour expliquer les grands enjeux, parfois contradictoires, auxquels la forêt est confrontée. Autre avantage ? La prise en compte de l'affect des citoyens pour « leur » patrimoine forestier est utile pour les impliquer dans des opérations de sauvetage. « *Comme avec la forêt de Chantilly, en Île-de-France, qui est dans un état critique. Pour la sauver, un collectif de 300 forestiers, scientifiques, élus et bénévoles se mobilisent pour cartographier les 6300 hectares que compte le domaine. Un travail colossal pour le maintenir vivant pour les cinquante années à venir* », illustre Nicolas Picard.

De telles expérimentations de cogestion citoyenne ne demandent qu'à se multiplier. L'enjeu est d'envergure. Les arbres sont au cœur du changement climatique, ils sont aussi un puissant levier pour en atténuer les effets. À condition que la forêt continue de résister aux assauts du climat... ●

1. Référentiel géographique forestier pour les professionnels de la filière bois et pour les acteurs de l'environnement et de l'aménagement du territoire métropolitain.

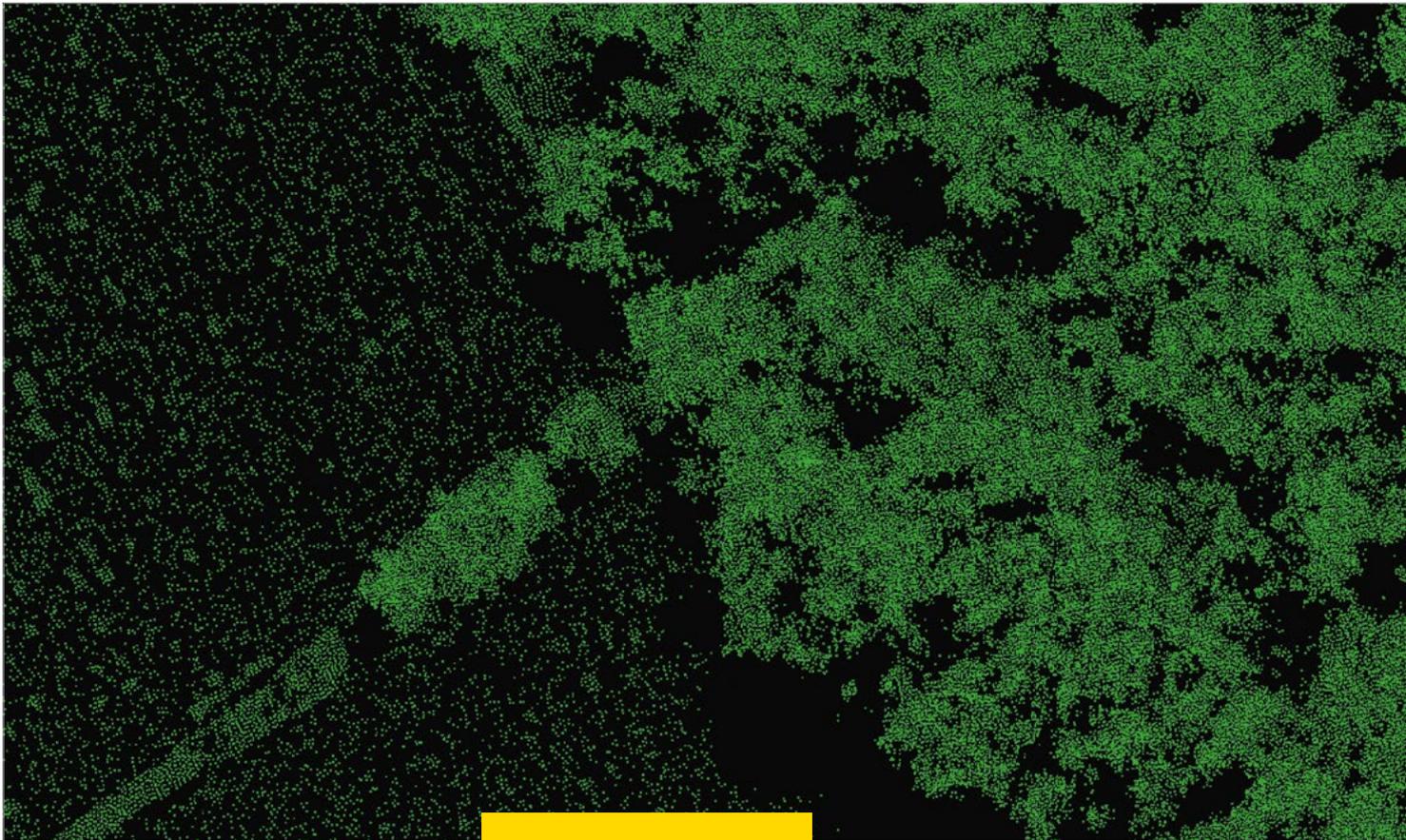
P A R O L E  
D ' E X P E R T S

- - -

**Julien Boullie,**  
directeur adjoint Forêt  
et risques naturels à l'ONF

**Laurence Le Legard-Moreau,**  
responsable du service forêt-bois,  
territoire Bouches-du-Rhône-  
Vaucluse, à l'ONF

« Il y a différentes manières de considérer une forêt. C'est un lieu de récréation, de balade, de tourisme. Une partie intégrante de l'identité d'un territoire. Un secteur économique pour l'exploitation du bois. Un réservoir de carbone pour lutter contre le changement climatique, un havre de biodiversité. La gestion de la forêt française s'est construite historiquement sur cette multifonctionnalité. C'est dans son ADN. Cela consiste à définir, sur un même espace et de façon adaptée à chaque lieu, un équilibre entre les multiples services attendus de la forêt. Mais aujourd'hui, les services que nous lui demandons sont nombreux, les attentes fortes. Dans l'imaginaire collectif, la forêt semble être au cœur d'antagonismes. Par exemple, comment ouvrir largement les bois tout en préservant la biodiversité et en limitant le risque d'incendie ? Charge à nous de nous ouvrir davantage et d'engager un dialogue avec les citoyens pour dépasser ces contradictions. Par exemple, prélever du bois n'est pas forcément un obstacle au maintien de la biodiversité. C'est un vrai défi sociétal. »



© IGN

PROGRAMMES

# Lidar, intelligence artificielle : les nouveaux détectives de la forêt

Depuis l'an dernier, l'IGN mène de front deux chantiers d'envergure destinés à affiner la connaissance des forêts françaises, pour une gestion durable plus précise.

## Canopées et nuages de points...

Lancé en 2021 et coordonné par IGN, le programme Lidar haute densité (Lidar HD) offrira à la France une nouvelle cartographie 3D de l'ensemble de son territoire d'ici à 2025, et ce avec une densité de 10 points par mètre carré en moyenne. Parmi les nombreux champs d'application de ce projet titanesque, la gestion de la ressource forestière fait figure de priorité. « L'Office natio-

nal des forêts (ONF) utilise la technologie lidar depuis plusieurs années, par exemple pour mettre à jour le tracé des dessertes forestières ou réaliser des cartes d'accessibilité pour les gros engins », indique Zacharie Coq, consultant sur le projet Lidar HD à l'IGN. Les équipes de l'ONF se servent aussi du lidar pour modéliser certains paramètres forestiers clés comme la hauteur des arbres ou leur diamètre moyen à une certaine hauteur. En couplant ces informations aux relevés de terrain

# « Être capable d'identifier automatiquement un certain nombre d'essences d'arbres fait encore figure de défi. »

Timothée Royer



Image lidar montrant la porosité du couvert végétal.

effectués dans les placettes forestières il est aussi possible d'estimer les volumes de bois dans les massifs forestiers, une donnée clé pour les gestionnaires mais aussi pour la modélisation du stock de carbone. « Grâce au Lidar HD, la description du sol et de la végétation va devenir suffisamment précise pour ouvrir de nouveaux horizons », poursuit Zacharie Coq. Cela va en particulier bénéficier à l'évaluation des risques d'incendie en améliorant la connaissance de la structure de la végétation sous la canopée et du type de peuplement. Le Lidar HD pourrait aussi renseigner sur la porosité du couvert végétal, indicateur clé de la santé des forêts et de leur capacité à se régénérer. « Enfin, des travaux ont été entrepris pour mettre les données Lidar HD au service de l'inventaire forestier national via l'extrapolation des informations collectées sur les placettes forestières », conclut Zacharie Coq.

## De l'IA dans la BD...

Dans le cadre de l'Observatoire national de l'artificialisation des sols, l'IGN pilote la production de données géographiques décrivant l'occupation et l'usage des sols selon la nomenclature OCS GE<sup>1</sup>. Afin de produire ces données rapidement sur l'ensemble du territoire national et à des coûts maîtrisés, l'IGN s'est lancé dans un ambitieux programme de production de données intégrant de l'intelligence artificielle. « L'un des volets de ce programme porte spécifiquement sur la forêt, indique Thierry Saffroy, chef de projet au sein du service des projets

et des prestations de l'IGN. Il s'agit d'utiliser l'IA pour faire des prédictions et ainsi réduire le temps de photo-interprétation des images aériennes afin d'accélérer la production de la troisième version de la BD Forêt<sup>2</sup>, très attendue par de nombreux acteurs pour des usages aussi variés que la gestion des ressources forestières, l'évaluation des capacités de stockage carbone, le suivi des bio-agresseurs ou encore l'amélioration de l'inventaire forestier national. »

Le projet prévoit trois phases de complexité et de précision croissantes. « Dans un premier temps, il s'agira d'entraîner l'intelligence artificielle à faire la différence entre les zones de forêt et les zones "non forêt", explique Timothée Royer, responsable de l'équipe Forêt Environnement. Ensuite, nous chercherons à classer les informations en dix classes : feuillus, résineux, forêts ouvertes ou fermées... Enfin, nous espérons atteindre, voire dépasser, le niveau de précision de la BD Forêt V2 qui distingue 32 classes. Cela nécessitera d'être capable d'identifier automatiquement un certain nombre d'essences d'arbres, ce qui fait encore figure de défi dans les conditions techniques actuelles. » Pour l'heure, le masque « forêt/non forêt » est en cours de finalisation et la mise en production de la première phase du projet devrait démarrer en 2023. ●

1. Occupation du sol à grande échelle.

2. Référentiel géographique forestier pour les professionnels de la filière bois et pour les acteurs de l'environnement et de l'aménagement du territoire métropolitain.

## P R O T O T Y P E S

# L'inventaire forestier à l'heure du multisource

Comment produire des statistiques précises et fiables à l'échelle de petits territoires sur la ressource en bois pour répondre à la demande forte des gestionnaires de la forêt sans augmenter le nombre de placettes visitées par les agents de l'inventaire forestier ? Les chercheurs sont en train de relever le défi en utilisant d'autres sources...

C'est un peu le Graal de la filière forestière : une carte, que l'on pourrait découper à l'envi pour obtenir des statistiques précises et fiables à chaque échelle de décision. Qu'il s'agisse d'une région, d'un département, d'une commune ou d'un groupement de communes, d'un massif ou d'une propriété. Bref, tout périmètre, recouvrant ou non une entité administrative ou cartographique. Pour cela, ses acteurs se tournent vers l'inventaire forestier, qui les pourvoit en données depuis 1958 grâce à ses dizaines d'agents qui effectuent chaque année des relevés très complets sur des milliers de placettes.

« Un tel niveau de segmentation ne figurait pas dans les objectifs initiaux de l'inventaire, rappelle cependant Cédric Véga, chercheur au Laboratoire d'inventaire forestier (LIF). Il s'agissait avant tout, pour l'État, d'évaluer globalement

une ressource stratégique. C'était une question de souveraineté nationale. » À cette échelle, celle du pays, ne « piocher » chaque année qu'une placette en moyenne tous les 20 km<sup>2</sup> est suffisant pour contenir l'incertitude statistique dans des fourchettes réduites : 1,7% pour le volume de bois vivant total, 5% pour le volume de hêtre, 13 % pour celui du sapin de Douglas... Elles passent même l'épreuve de la descente à l'échelle régionale, tout au moins pour les grandes régions forestières. Mais ensuite, elles se dégradent rapidement, le nombre de points devenant insuffisant. « La première solution serait d'augmenter significativement la pression de sondage, mais cela coûterait cher, explique Cédric Véga. L'idée est donc de mobiliser d'autres sources, comme les cartes ou les images de télédétection aériennes ou satellitaires. Avec ces données dites auxiliaires, on peut rapprocher des aires forestières similaires et augmenter ainsi "fictivement" le nombre de points de référence. Au-

# « Grâce aux progrès de l'apprentissage machine, nous pourrions déjà prédire un grand nombre de données de l'inventaire. »

**Jean-Pierre Renaud**



*paravant, il faut bien sûr vérifier la qualité de la corrélation entre ce que suggèrent ces cartes ou ces images et la réalité des peuplements, du sol à la canopée. Car ce que l'on peut voir du ciel n'est que partiel... »*

## Un prototype en Sologne

À partir de 2017, le LIF lance une première expérimentation grandeur nature d'inventaire multisource sur la Sologne et l'Orléanais. Le secteur choisi s'étend sur 6 500 km<sup>2</sup> couverts pour moitié de forêts. Sur celui-ci, ses chercheurs disposent des 800 points de l'inventaire forestier national relevés sur 5 ans et, côté données auxiliaires, de la BD Forêt, des images du satellite Landsat d'une résolution de 30 mètres, des modèles photogrammétriques aériens en 3D de la canopée et d'un modèle numérique de terrain réalisé par scanner aérien lidar en 2014, à raison de deux points par mètre carré. Toutes les corrélations possibles avec les relevés des placettes ont été testées. Le gain de précision dépasse le facteur 2 lorsque l'on utilise la BD Forêt et les photos 3D. La marge d'incertitude descend, à l'échelle du territoire étudié, à 1,8 % pour le volume de bois vivant, contre 2,6 % avec les seules données de l'inventaire. À l'échelle du canton, soit environ 100 km<sup>2</sup>, elle se situe à 11,4 %, au lieu de 19,8 %...

En parallèle, Claire Bastick, ingénieure au département d'analyse des forêts de l'IGN, développe le prototype d'une carte interactive de restitution. « L'outil est aujourd'hui en démonstration sur la Sologne et les Vosges avec des fonctionnalités simples pour tester les usages et intérêts de la méthode, indique l'ingénieure. Les périmètres interrogeables restent pour l'ins-

*tant prédéterminés et s'arrêtent à une certaine superficie, variable en fonction du niveau d'erreur maximal accepté par l'utilisateur. La question de sa généralisation à l'échelle nationale est posée. En attendant, nous utilisons ces méthodes d'estimation multisources au cas par cas, comme nous venons de le faire pour les zones incendiées en Gironde. Elles donnent des estimations du bois perdu plus précises qu'avec les seules données d'inventaire. »*

## Sous le laser de GEDI<sup>1</sup>

Deux projets en cours promettent de nouveaux progrès. Embarquée à bord de la Station spatiale internationale, la mission GEDI balaie depuis 3 ans la Terre de ses lidars, 

### 3 QUESTIONS À



Jean-Pierre Renaud

Chargé de recherche à l'Office national des forêts (ONF)

#### Qu'attend l'ONF de l'inventaire multisource ?

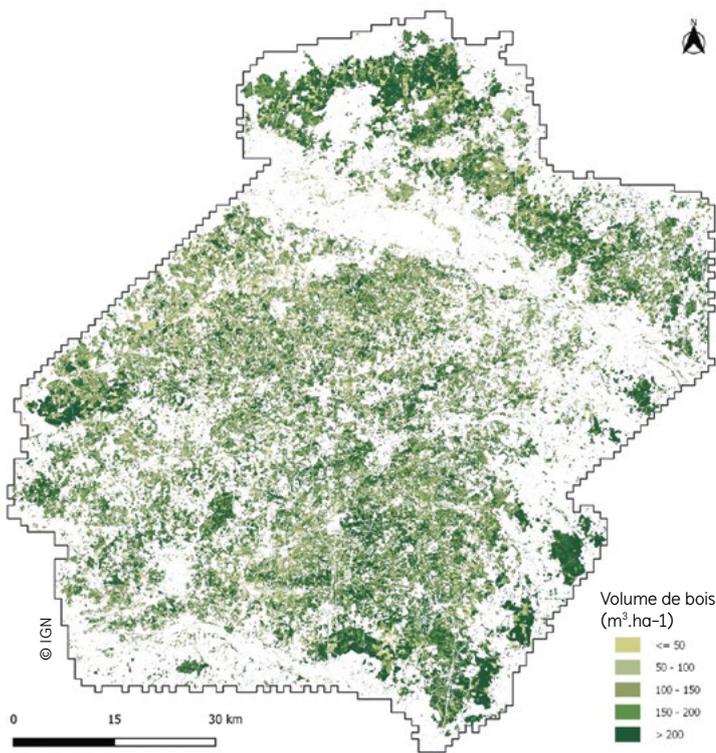
La même chose que tous les gestionnaires : un outil pratique pour établir nos plans d'aménagement qui avaient initialement une portée de 20 ans mais qui se resserrent dans le temps, pour réagir aux imprévus comme les infestations d'insectes, les dépérissements ou les tempêtes. L'application développée pour la Sologne et les Vosges est prometteuse, même si, sans relevés supplémentaires de terrain, elle aura du mal à descendre à l'échelle la plus pertinente pour nous : l'unité élémentaire de gestion.

#### Vous êtes très étroitement associé à ces travaux. Qu'en retenez-vous ?

Qu'il est essentiel de confronter nos visions, qui ne sont pas tout à fait les mêmes. L'IGN part d'un intervalle de confiance en deçà duquel il ne souhaite pas produire des chiffres, qu'il juge trop peu fiables. Or ceux-ci peuvent nous être utiles, par exemple pour cibler les secteurs qui méritent une visite. Pour nous, l'incertitude est un indicateur parmi d'autres...

#### Quelles sont les prochaines étapes ?

Les progrès en matière d'apprentissage machine nous facilitent déjà beaucoup la vie en matière de modélisation. En théorie, nous pourrions déjà prédire un grand nombre de données de l'inventaire. Cela nous donnerait la possibilité de gérer beaucoup plus finement les multiples services écosystémiques de nos forêts.



échantillonnant dans des empreintes de 25 mètres de diamètre tous les 60 mètres sur des traces parallèles distantes de 600 mètres. Si la probabilité qu'elles tombent sur une placette d'inventaire est quasi nulle, il est possible de corréler leurs informations en utilisant comme passerelle les images des satellites Sentinel-2 qui couvrent, elles, tout le territoire. La première carte des hauteurs de canopée pour la France est en cours de validation, dans le cadre d'une thèse universitaire. Elle ne tardera pas à être complétée par la modélisation de la métropole par lidars aériens HD<sup>2</sup>, entreprise en 2020 et qui doit s'achever en 2025.

« Plus la qualité de nos données auxiliaires augmentera, plus nous descendrons à des échelles spatiales réduites, conclut Cédric Véga. Mais nous aurons toujours besoin de points terrain pour alimenter les modèles et produire des cartes d'attributs, ou pour produire des estimations pour les attributs terrain non corrélés aux données auxiliaires disponibles. Contrairement aux chevaliers de la table ronde, nous ne ferons donc qu'approcher notre Graal... » ●

1. Pour Global Ecosystem Dynamics Investigation (GED1).
2. Avec une résolution de 10 points par mètre carré.

« Les approches multisources fournissent une bonne estimation du bois perdu lors de crises, comme les récents incendies en Gironde. »

Claire Bastick

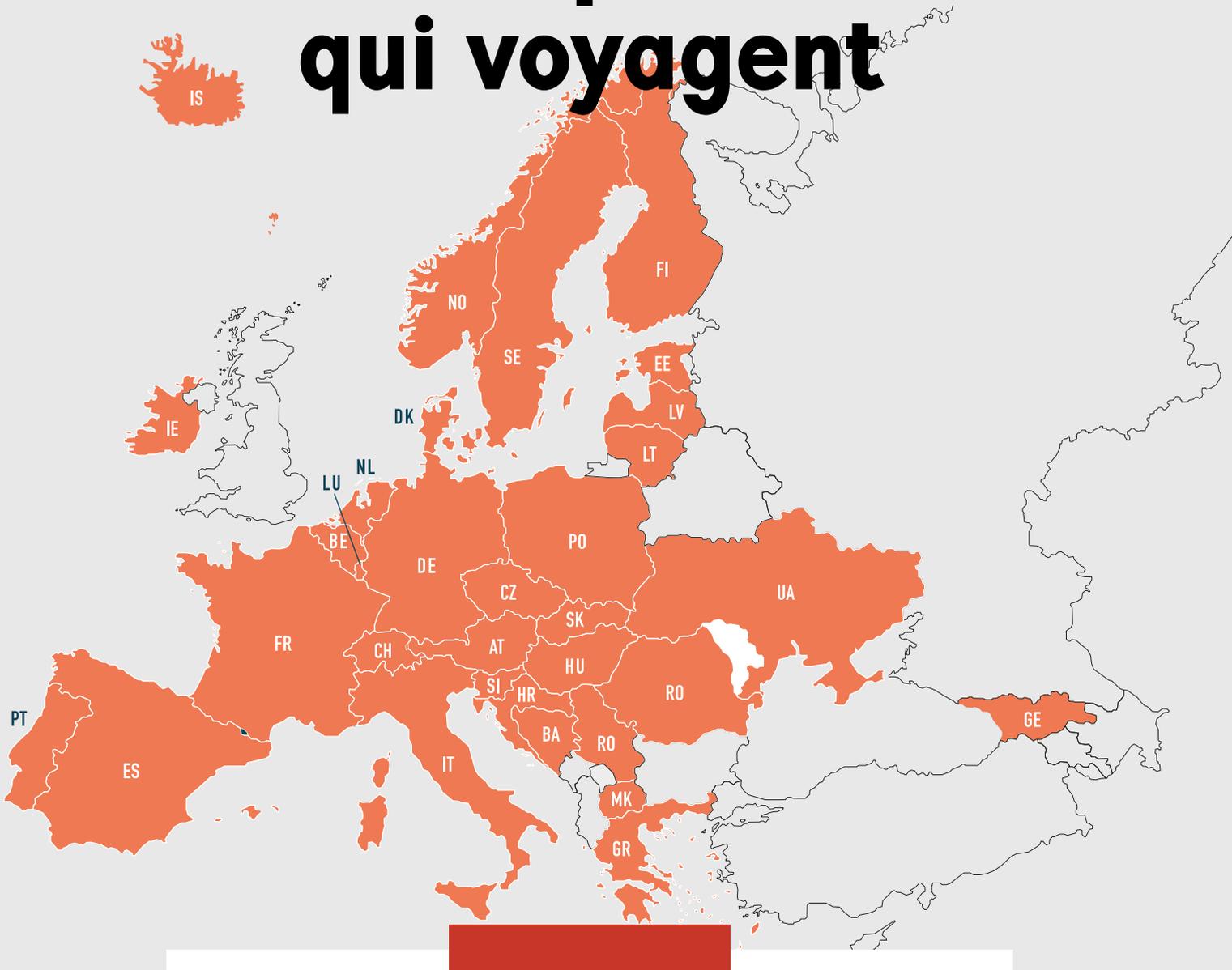


## Entre Suisse et Finlande

Grand pays forestier, la Finlande est la première à s'être lancée dans l'inventaire multisource, dès la fin des années 1980 : elle en est à son treizième cycle.

Chercheuse finlandaise qui vient de rejoindre le LIF, Minna Pulkkinen a travaillé de 2016 à 2020 au développement d'un prototype pour la Suisse : « Comme en France, le modèle numérique de hauteur de canopée y joue un rôle clé comme source de données auxiliaires. Nous avons construit des modèles rapprochant volume ou biomasse et variables auxiliaires de manière très flexible, en utilisant des techniques d'apprentissage automatique. Avec cette approche, nous sommes parvenus à descendre, avec un degré de précision raisonnable, jusqu'à l'échelle des communes et des plus petits cantons. Mais avec moins de souplesse que le prototype français, puisque les périmètres sont prédéfinis. Mon objectif aujourd'hui ? Combiner les qualités des deux approches... »

# Inventaire forestier : des compétences qui voyagent



**Comme les forêts, les expertises développées par les équipes de l'IGN en matière d'inventaire forestier ne s'arrêtent pas aux frontières... La preuve avec le réseau européen ENFIN et trois collaborations techniques en Côte d'Ivoire, en Turquie et au Maroc.**



# ENFIN : des inventaires nationaux au service de la forêt européenne

**C**réé en 2003, le réseau des inventaires forestiers nationaux d'Europe (ENFIN<sup>1</sup>) réunit désormais 33 organisations issues de 30 pays autour d'un but commun : harmoniser progressivement les données produites par les dispositifs nationaux pour faciliter la comparaison des inventaires entre eux et autoriser un suivi des systèmes forestiers à l'échelle européenne. « *En trois contrats-cadres successifs, le réseau a donné naissance à plusieurs actions d'envergure comme la réalisation d'un atlas européen des essences forestières et l'élaboration de deux ouvrages de référence sur les inventaires existants et sur les outils d'évaluation de la ressource forestière disponible* », indique François Morneau, conseiller technique de l'inventaire forestier national au sein du service de l'information statistique forestière et environnementale de l'IGN. Le réseau participe également à la mise en place du système européen d'information sur les forêts (FISE), porté par l'Agence européenne pour l'environnement pour le compte de la Commission européenne. « *Avec la nouvelle stratégie de l'Union européenne pour les forêts à l'horizon 2030, le travail des membres d'ENFIN prend un relief nouveau, ajoute François Morneau. Un règlement européen est notamment attendu pour le second semestre 2023, qui instaurera un système de suivi de la forêt européenne. Dans ce cadre, le réseau des inventaires nationaux a plus que jamais un rôle à jouer pour structurer les réflexions et proposer de nouveaux outils de suivi.* » ●

1. Pour European National Forest Inventory Network.



Agents forestiers prenant des mesures pour l'inventaire forestier et faunique de Côte d'Ivoire.

## Quand 21 pays harmonisent leur volume forestier

La comparaison des chiffres entre pays était difficile par les différences de définitions. En 2019, 21 pays européens ont recalculé leurs volumes selon une définition commune. Ainsi les forêts couvrent 35 % du territoire européen, soit 227 millions d'hectares, et ont progressé de 9 % depuis 1990. Dans la même période, les volumes se sont accrus de 50 % pour atteindre près de 35 milliards de mètres cube ! Cependant, le résultat, comparé aux estimations nationales, a montré des écarts pouvant aller de -12 % à + 32 % ! Par exemple le volume français est sous-estimé de 6,9 % du fait, surtout, de la non prise en compte des petites tiges.



## PathFinder : vers un cadre européen pour la surveillance des forêts

En septembre, un consortium piloté par l'institut norvégien de recherche en bioéconomie et impliquant plusieurs membres d'ENFIN, dont l'IGN, a lancé le projet PathFinder. Financé par la Commission européenne dans le cadre du dispositif Horizon Europe, ce programme de quatre ans a pour objectif de concourir à l'émergence d'un cadre européen pour la surveillance des massifs et pour l'élaboration de politiques destinées à maximiser le potentiel des forêts européennes en termes d'atténuation du changement climatique et de protection de la biodiversité. La première étape de PathFinder aboutira à la construction d'un système de monitoring et de reporting sur le carbone des forêts en combinant des observations de terrain issues pour l'essentiel des inventaires forestiers nationaux et des données issues de la télédétection.



© DR

## Trois collaborations techniques

Ces dernières années, les savoir-faire de l'IGN en matière d'inventaire forestier ont été sollicités à plusieurs reprises dans le cadre de collaborations internationales. En 2019, quand la Côte d'Ivoire a confié la réalisation de son nouvel inventaire forestier et faunique à ONF International (ONFI) et à sa succursale ONF Côte d'Ivoire, ces derniers ont fait appel à l'IGN pour une assistance technique. « Dans un premier temps les experts de l'IGN ont préparé le plan d'échantillonnage qui précède et décide ensuite de toute l'organisation sur le terrain, en particulier l'emplacement des placettes forestières, explique le consultant Pascal Cuny, qui était à l'époque le gérant d'ONF Côte d'Ivoire. Ils ont aussi structuré les bases de données et nous ont aidés à mettre en place la chaîne de collecte avec les acteurs ivoiriens. Après deux ans et demi de travail d'inventaire, ils sont intervenus à nouveau pour le traitement statistique des 1,3 million de données forestières rassemblées. C'est en grande partie grâce à l'IGN que l'État ivoirien dispose maintenant d'un inventaire forestier et faunique robuste qui pourra être mis à jour par la suite pour suivre l'évolution de la situation. » 2019 a également marqué le début de la collaboration avec la direction générale des forêts de Turquie et l'IGN, une nouvelle fois via ONFI. Entre 2019 et 2022, plusieurs experts de l'IGN ont mené dans ce cadre deux missions d'appui technique en vue de la création d'un inventaire forestier national en Turquie, avec un focus spécifique sur le plan d'échantillonnage. Enfin, cette année, l'IGN a été mandaté par Expertise France pour partager ses connaissances avec l'agence marocaine des eaux et forêts, qui s'apprête à réaliser un troisième cycle d'inventaire forestier et souhaite bénéficier d'un regard extérieur sur son approche méthodologique.



# Laurent Tillon

**Laurent Tillon est responsable biodiversité à l'Office national des forêts (ONF), chargé des inventaires faunistiques. Il est l'auteur de *Et si on écoutait la nature?* (Payot, 2018) et de *Être un chêne. Sous l'écorce de Quercus* (Actes Sud, 2021). Témoignage d'un amoureux des arbres et d'un défenseur du vivant.**



# Âme et arbres sensibles

**Q**uercus se porte bien. Dans son petit sanctuaire de la forêt de Rambouillet, le compagnon de Laurent Tillon, un chêne de

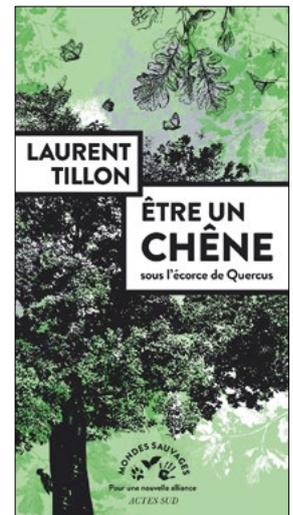
240 ans, a survécu sans peine à la canicule estivale. À quelques pas de lui, Fagus montre des signes de faiblesse : le déficit en pluie pèse sur ce hêtre d'un siècle et demi. « *Je suis un peu inquiet. La survie de Quercus dépend aujourd'hui de la santé de Fagus qui le protège de la morsure du soleil* » confie Laurent Tillon.

Si le forestier confie d'emblée son attachement profond aux arbres, et en particulier au chêne auquel il consacre son dernier livre, il est loin de tomber dans l'anthropomorphisme. Sa voix résonne encore des émerveillements de l'enfance lorsqu'il évoque la complexité de ces plantes auxquelles il a voué sa vie : « *Les branches d'un même arbre présentent des différences génétiques, liées à leur environnement. Les glands d'une branche haute et exposée au soleil ne sont pas les mêmes que ceux d'une branche basse à l'ombre. Un même chêne produit donc des graines génétiquement différentes* ». De quoi interroger notre conception même de ce qu'est un individu. D'autant qu'un arbre ne peut se comprendre que dans son habitat, dans la simultanéité de multiples interactions avec une variété immense d'organismes : mycélium au réseau tentaculaire, micro-organismes, nuées d'insectes, oiseaux nicheurs, chauve-souris, mulots, chevreuils... tous participent à la vie de la forêt. Y compris l'homme ? « *Tous mes collègues forestiers ont depuis longtemps conscience des impacts du changement climatique. La végétation est en train de changer profondément. Nous nous efforçons, humblement, d'accompagner ce changement* », relève Laurent Tillon, qui s'avoue volontiers éco-anxieux depuis l'adolescence, depuis qu'il a pris conscience de la fragilité de ce chêne majestueux auquel il a l'habitude de confier ses secrets ou auprès duquel il vient chercher du réconfort.

## Une poésie du vivant

« *La biodiversité est indispensable à la résilience. Il n'est pas si compliqué de la préserver.* » À l'appui de cette affirmation, outre son livre plaidoyer qui est une ode au vivant, il brandit une photo qu'il a relayée sur son compte Twitter, celle de son pare-brise moucheté d'insectes. « *C'est à côté de chez moi à Rambouillet, pas loin de Quercus. Il a suffi de préserver un coin de forêt et d'arrêter de*

# « Quand on prend soin d'un être vivant, il vous le rend au centuple. »



## B I O G R A P H I E

**1977**

Naissance à Dreux (28)

**1992**

Commence à parcourir à vélo la forêt de Rambouillet dans laquelle il rencontre Quercus, son chêne-compagnon.

**1997**

Lors de son BTS de gestion et protection de la nature effectue un stage dans les forêts de la vallée du Rhône : « J'ai eu le sentiment d'avoir trouvé ma place. »

**1998**

Intègre l'ONF au sein de l'inventaire de la biodiversité et retrouve Quercus à Rambouillet.

**2015**

Thèse de doctorat sur les relations entre les chauves-souris et la gestion forestière.

**2019**

Écrit en 17 jours *Être un chêne. Sous l'écorce de Quercus*, qui sort en 2021.

répandre des pesticides dans les champs pour que la nature se régénère », témoigne-t-il. Si Laurent Tillon a son chêne-confident, nous avons tous le souvenir d'un arbre aimé. Et si nous n'en avons pas, dépêchons-nous de fréquenter un compagnon végétal. « *Quand on prend soin d'un être vivant, il vous le rend au centuple, et vous nourrit intellectuellement, affectivement, émotionnellement* », conclut l'ingénieur forestier. ●

