

Institut pour le développement
forestier/Centre national de la
propriété forestière

47 rue de Chaillot, 75116 Paris

Tél. : 01 47 20 68 15

foretentreprise@cnpf.fr

Directeur de la publication

Antoine d'Amécourt

Directeur de la rédaction

Thomas Formery

Rédactrice

Nathalie Maréchal

Conception graphique

Mise en page

Sophie Saint-Jore

Responsable Édition-Diffusion

Samuel Six

Diffusion — abonnements

François Kuczynski

Publicité

Bois International

14, rue Jacques Prévert

Cité de l'avenir - 69700 Givors

Tél. : Corinne Oliveras :

04 78 87 29 41

Impression

Centre Impression

BP 218 — 87220 Feytiat

Tél.: 05 55 71 39 29

Numéro d'imprimeur 00148

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

Périodicité : 6 numéros par an
Abonnement 2016

France: 49 € - étranger : 62 €

édité par le CNPF-IDF

Commission paritaire des
publications et agences de
presse: n° 1019 B 08072

ISSN: 0752-5974

Siret: 180092355 00015

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

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

Dépôt légal: mai 2016



© PEFC France

COP 21 (qui s'en souvient...) et carbone...

Les États membres de la COP 21, au Bourget en décembre 2015, se sont accordés sur la nécessaire limitation du réchauffement climatique à + 2 °C d'ici à la fin du siècle — en tâchant même de le limiter à + 1,5 °C —. Cet accord est aussi exceptionnel qu'extrêmement ambitieux. Or, le temps n'est plus à l'autosatisfaction. L'accord de Paris ne sera efficace que si les nations réduisent de manière drastique leurs émissions de gaz à effet de serre et préservent leurs forêts.

Ce dernier point nous concerne, de loin d'abord : les zones forestières absorbent en effet rapidement et stockent une grande quantité de carbone. Il a été récemment estimé qu'un effort concerté pour stopper la déforestation et régénérer les forêts dans des zones tropicales dégradées nous permettrait d'atteindre la moitié de notre objectif mondial en termes de réduction des émissions de carbone dans les cinquante prochaines années. Également de près, notre forêt locale contribue tout autant à la fixation du carbone. Nos forêts françaises séquestrent annuellement 12 % des émissions de GES de la France.

Un partenariat récent est initié entre La Poste, La Banque Postale, les Régions du Massif central — à travers leur groupement d'intérêt public interrégional pour le développement du Massif central (GIP Massif central) — et le Centre national de la propriété forestière. Il participe concrètement au développement local et lutte contre le changement climatique. Ce partenariat innovant met en place cinq projets pilotes, sur 5 régions, susceptibles d'initier une dynamique exemplaire de production forestière et de préservation de la biodiversité. Innovant par son ampleur et par ses ambitions, ce projet repose sur une volonté : aller plus loin qu'un scénario de gestion « traditionnel » des forêts, soutenir par un financement privé les surcoûts engendrés qui intègrent les différentes dimensions climatiques, environnementales, économiques et sociétales des forêts.

Après deux ans de travail entre les Régions, le service Recherche Développement & Innovation du CNPF et les forestiers du Massif central, des itinéraires sylvicoles « carbone + » ont été définis. Des groupes de forestiers s'engagent collectivement dans un mode de gestion de leur forêt établi sur la base des gains en matière de services environnementaux (biodiversité, captation et séquestration du carbone, lutte contre l'érosion des sols, filtration des eaux) et économiques (production accrue de bois d'œuvre, pérennisation et développement des emplois locaux autour de la filière bois).

Voilà un bel exemple d'actions intégrées « carbone », que nous recherchons pour impulser une sylviculture plus dynamique, soutenue par un apport financier vers les sylviculteurs...

Thomas Formery



S. Gaudin - CRPF CA © CNPF

Observation et description du sol
en champagne-Ardenne.

Numéro suivant N° 229
Diversité des systèmes
agroforestiers

ACTUS



4

AGENDA



65

Forêt-entreprise, votre revue technique de gestionnaire forestier

Oui, je m'abonne (Tarifs 2016)

- ☐ Abonnement France 1 an — 6 numéros : 49 €
- ☐ Abonnement étranger 1 an — 6 numéros : 62 €
- ☐ Abonnement France 1 an — **Spécial étudiant**
— 1 an — 6 numéros : 40 € (joindre la photocopie de votre justificatif)
- ☐ Abonnement France 1 an
— Remise de 30 % aux adhérents de CETEF,
GDF, et organismes de développement, Fogefer
— 6 numéros : 34,30 €

Nom
Prénom
Adresse
Code postal
Commune
Tél.
Courriel

Chèque bancaire ou postal à l'ordre de :
« agent comptable CNPF » à retourner à la librairie de l'IDF,
47 rue de Chaillot, 75116 Paris — Tél. : 01 47 20 68 15
Fax : 01 47 23 49 20 — idf-librairie@cnpf.fr

Catalogue de l'Institut pour le développement forestier
consultable [sur le site www.foretpriveefrancaise.com](http://www.foretpriveefrancaise.com)
et gratuit sur simple demande



PhotoFor : une interface fonctionnelle pour rechercher,
sélectionner et télécharger des photos forestières.

CNPF



6

PhotoFor : une base de données
photographiques dédiée à la forêt

Sylvain Gaudin, Mireille Mouas

FRÊNE



10

La chalarose du frêne en France

Claude Husson, Arnaud Dowkiw,
François-Xavier Saintonge, Benoît Marçais

Chalfrax, un projet national
sur la gestion des frênaies
sinistrées par la chalarose



14

Benjamin Cano

RECHERCHE



57

Plantation d'essences feuillues dans
le massif des Landes de Gascogne :
diversifier et produire ?

Frédéric Bernier, Jean-Luc Denou, Céline Meredieu

POINT DE VUE



63

La préservation des sols
forestiers au cœur de PEFC

Point de vue de Stéphane Marquesi

**NOUVEAU :
Forêt-entreprise
à l'heure du numérique !**

Sur votre ordinateur par le lien :
www.bit.ly/1Q95gxU



**Téléchargez
gratuitement
l'application**



« Librairie des forestiers »

**Télécharger dans
l'App Store**

« Librairie forestière »
sur Play Store
version Android 4.0 et suivantes

**DISPONIBLE SUR
Google play**



Dossier

les typologies des stations forestières : des outils d'actualité

> 16 Les typologies des stations forestières : des outils d'actualité !
Thomas Brusten et Sylvain Gaudin

> 18 La typologie des stations forestières en France : état des lieux
Thomas Brusten et François Charnet

> 28 Décrire les stations forestières pour veiller à satisfaire les besoins des arbres
Thomas Brusten et Pierre Gonin

> 34 Des données spatialisées au service de la description du milieu
Thomas Brusten et Christian Piedallu

> 39 Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage
Sylvain Gaudin, Christian Piedallu, Florentin Madrolles et Jean-Baptiste Reboul



F. Madrolles - CRPF Normandie © CNPF

> 44 Le projet EcoGéoDyn en Normandie : des cartes prédictives aux utilisations pratiques dans les forêts normandes
Florentin Madrolles et Jean-Baptiste Reboul

> 49 Typologie des stations forestières et choix des essences en contexte de changements climatiques
Sylvain Gaudin, Florentin Madrolles, Jean-Baptiste Richard, Thomas Brusten

> 55 Les études de stations forestières : l'implication d'un CETEF
Antoine Pelissie du Rausas

SOMMAIRE

Programme national de la forêt et du bois

- 1) Institut national de l'information géographique et forestière
2) Groupement d'intérêt public Écosystèmes forestiers

Le Programme national de la forêt et du bois (PNFB) fixe les orientations de la politique forestière, en forêt publique et privée, pour une période de dix ans. Ce programme est issu d'une concertation des acteurs de la filière et sera suivi par le Conseil supérieur de la forêt et du bois (CSFB). Quatre objectifs sont fixés :

- créer de la valeur en France en mobilisant la ressource durablement,
 - répondre aux attentes des citoyens et s'intégrer aux projets de territoires,
 - conjuguer atténuation et adaptation des forêts au changement climatique,
 - développer des synergies entre forêt et industrie en trouvant de nouveaux débouchés aux produits forestiers actuellement disponibles et en adaptant mieux les sylvicultures pour mieux répondre aux marchés.
- L'objectif de la dynamisation de la sylviculture est d'atteindre 12 M de m³ supplémentaires dans 10 ans, soit environ 20 % en plus de la récolte actuelle. En amont de la filière, certaines actions sont essentielles comme la construction de routes forestières et la restauration de l'équilibre sylvo-cynégétique. D'autres devront être innovantes pour l'adaptation au changement climatique, la mécanisation en forêt, la valorisation des feuillus, les multiservices numériques pour la gestion forestière. Des expérimentations de regroupement de gestion des forêts publiques et privées, ou des rapprochements d'organisations professionnelles dans une organisation commune sont prévus afin d'impulser une nouvelle dynamique. Des programmes régionaux de la forêt et du bois (PRFB) déclineront les orientations et objectifs économiques, environnementaux et sociaux du PNFB au niveau régional, avec le soutien des interprofessions locales. Rapport téléchargeable sur :

http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/160307_plannational_foretbois_03.pdf

Comité stratégique de la filière bois

Le Comité stratégique de la filière bois a mené plusieurs structurations cette année comme :

- > la mise en place d'une veille économique mutualisée ;
- > le déploiement du *Fonds Bois II* pour des entreprises ;
- > le lancement pour du plan « Industries du bois » pour la construction d'immeubles de grande hauteur en bois ;
- > le déploiement du 2^e plan bois construction pour la valorisation du bois dans la construction et la rénovation via l'innovation dans la construction et la formation ;

- 3) Appel à manifestation d'intérêt

> l'AMI³ Dynamic Bois pour utiliser la ressource forestière de mauvaise qualité comme bois-énergie et la remplacer par des espèces plus nobles. 30 M€ d'euros d'aides sont accordés à 24 porteurs de projets lauréats ;

> le lancement récent de la mission « Recherche et Innovation 2025 filière forêt-bois », afin d'identifier les principaux projets stratégiques à dix ans et les financements innovants mobilisables associés, une initiative majeure dans la perspective du troisième programme d'investissements d'avenir (PIA 3).

La Fédération nationale du bois, France bois forêt, France bois régions et France bois industrie entreprises sont désormais membres du comité stratégique.

Le Comité stratégique de la filière bois est l'un des quatorze comités stratégiques du Conseil national de l'industrie. Un contrat de filière en cours de rédaction a pour objectif de bâtir une stratégie d'amélioration de la compétitivité des entreprises, de développer la filière bois par les marchés, notamment de la construction, en valorisant la ressource française.

Synthèse par enjeux des indicateurs de gestion durable des forêts métropolitaines

La 5^e édition des indicateurs de gestion durable 2015 (1^{re} édition en 1995) est publiée par l'IGN¹ en collaboration avec le GIP Ecofor², le Lerfob de l'Inra-AgroParis-Tech et l'Irstea, et comprend un résumé exécutif, une synthèse des tendances par enjeu de politique publique et de synthèses pour chaque critère de gestion durable. Les ressources forestières augmentent, tout en maintenant des caractéristiques importantes pour la biodiversité et un état de santé satisfaisant. Des points de vigilance subsistent pour le taux de prélèvement faible en moyenne, certains habitats ou aires protégées en deçà des objectifs, l'impact des accidents climatiques avec le défi du changement climatique, l'importation des espèces invasives, pathogènes, ou ravageurs. Les forêts sont importantes pour la société, les activités économiques et l'environnement. Les indicateurs progressent tout en mesurant les progrès de la gestion durable des forêts. Rapport téléchargeable sur :

<http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?rubrique80>

Plafonnement des frais de notaire : levée d'un frein à la restructuration du foncier forestier

Le montant des émoluments du notaire est plafonné à 10 % de la valeur du bien ou du droit faisant l'objet de la mutation, avec un minimum de 90 €. Cette mesure, qui s'inscrit dans le cadre de la loi du 6 août 2015 pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques, permettra de faciliter la restructuration du foncier et la lutte contre le morcellement forestier, qui sont des axes structurants de la politique forestière. *Tarifs réglementés des notaires au Journal officiel de la République française le 28 février 2016.*

Europe : importation de bois

L'Union européenne a importé en 2015 pour 17,2 milliards d'euros de bois, selon les dernières données compilées par l'ITTO (Tropical timber market). En valeur, les importations ont retrouvé leur niveau d'avant la crise financière et économique de 2008 (une hausse en valeur de 12 % sur 2014). La forte hausse des importations en valeur doit beaucoup à la faiblesse de l'euro (- 20 % contre le dollar entre 2014 et 2015). Ces cinq dernières années, la qualité des produits bois importés évoluait elle aussi, avec un accroissement des meubles, huisseries et, surtout, du bois énergie, tandis que les parquets régressaient. Un rebond notable des bois tropicaux, qui avaient pourtant continuellement décru de 35 % à 21,4 % entre 2004 et 2014. Durant cette période, ils ont perdu du terrain d'abord en faveur de la Chine, puis de l'Amérique du Nord et des pays européens hors UE.

Filière bois : Léger recul du déficit

La balance commerciale de la filière bois confirme sa tendance à l'amélioration amorcée en 2012, grâce à un déficit ramené à 5,7 milliards d'euros sur 2015. Les importations restent globalement stables et totalisent 15 milliards d'euros, avec une augmentation pour les pâtes à papier. Les exportations progressent notamment pour les meubles et sièges (habituellement déficitaires), panneaux et contreplaqués ; la tonnellerie demeure un des fleurons de la filière bois.

Informations : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjinforap201603bois.pdf>

Élections des conseillers de CRPF en 2017

Le conseil d'un CRPF agréé les PSG et autorise les coupes extraordinaires. Il détermine les orientations de la gestion de la forêt privée régionale. Il statue sur les documents de gestion durable. Les conseillers représentent les propriétaires privés de leur région au conseil d'administration du CNPF et dans de nombreuses instances locales impliquant la forêt.

Le conseil d'un CRPF est composé de propriétaires forestiers élus. **Les conseillers des CRPF seront renouvelés en février** (élection par les collèges départementaux de propriétaires forestiers) et **mars 2017** (élection par le collège régional des organisations professionnelles représentatives).

Ces élections se déroulent par correspondance et concernent :

- > les **propriétaires forestiers** d'au moins **4 ha** sur un même département,
- > les propriétaires forestiers de moins de 4 ha qui ont adhéré à un **Règlement type de gestion (RTG)** ou à un **Code des bonnes pratiques sylvicoles (CBPS)** en vigueur.
- > les organisations professionnelles représentatives dont les représentants sont élus par le collège régional.

Propriétaires forestiers, pour vérifier si vous êtes concernés et bien inscrits sur les listes électorales, contactez votre CRPF avant le 30 juin 2016. Vous pouvez également vérifier votre inscription sur le site cnpf.fr



Contrat d'objectifs ONF

Adopté lors du Conseil d'administration de l'Office national des forêts en décembre 2015 et signé par Stéphane Le Foll, ministre de la Forêt, Barbara Pompili, secrétaire d'État chargée de la Biodiversité, et Christian Eckert, secrétaire d'État chargé du Budget, le Contrat d'objectifs et de performance 2016-2020 de l'ONF définit les enjeux forestiers stratégiques pour les forêts domaniales et les forêts des collectivités en matière de sylviculture, d'approvisionnement de la filière, de préservation de la biodiversité, d'adaptation au changement climatique et de réponses aux demandes de la société. Les objectifs sont 15 millions de m³ de mobilisation de bois en forêts publiques d'ici 2020, le développement du bois façonné et la fin des réductions d'effectifs. « Ce nouveau contrat d'objectifs trace des perspectives ambitieuses, mais réalistes sur la mobilisation du bois au service de l'ensemble de la filière, tout en préservant le caractère durable et multifonctionnel de la forêt publique française. La gestion durable de la forêt est en effet un enjeu majeur au regard du défi climatique et de la conservation de la biodiversité. Par ailleurs, les conditions budgétaires sont désormais réunies pour permettre à l'ONF de poursuivre sa mission de gestionnaire des forêts publiques tout en assurant la pérennité financière de l'établissement » ont souligné les ministres.

Évaluation nationale des disponibilités en biomasse forestière à l'horizon 2035

L'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et l'Institut technologique FCBA, en collaboration avec l'ADEME et les ministères de l'Environnement et de l'Agriculture, publient une étude sur les volumes de bois exploitable dans le futur. Le niveau de prélèvement actuel est de 66 millions de m³. La possibilité d'augmenter jusqu'à 20 millions de m³ supplémentaires par an d'ici 2035 est confirmée par l'analyse de 2 scénarios de sylviculture constante ou dynamique. 80 % de la ressource supplémentaire est feuillue, dont la moitié est conditionnée à la mobilisation du bois d'œuvre. L'étude confirme également qu'environ 60 % de la ressource supplémentaire mobilisable est en forêt privée, notamment dans les massifs < 25 ha. Elle confirme également que la récolte est plus importante dans les forêts privées munies d'un document de gestion durable, par comparaison avec celles qui n'en ont pas.

Taux de TVA augmenté à 20 %, sauf pour les plants forestiers et bois de chauffage

Depuis le 01/01/2016, le taux de TVA est passé de 10 % à 20 % pour l'ensemble des produits et travaux sylvicoles, à l'exception des plants forestiers et du bois de chauffage. Les ventes de bois sur pied, de bois abattus et les travaux sylvicoles ou exploitations forestières ont désormais une TVA de 20 %, en raison d'une harmonisation des taux dans l'Union européenne.

Certificat européen de qualification : permis « tronçonneuse »

Le permis de tronçonneuse est un certificat européen destiné aux bûcherons travaillant de manière occasionnelle en forêt, pour garantir un niveau de formation standardisé à l'utilisation de tronçonneuse. Les objectifs de ce certificat sont de renforcer la sécurité des travailleurs, de leur apprendre des gestes techniques (billonnage de la grume, abattage-façonnage de l'arbre), et l'entretien de la tronçonneuse. Le permis est délivré par les 11 centres de formation accrédités par l'agence européenne EFESC (*European Forestry and Environmental skills Council*).

Liste des Centres français sur le site : www.eduforest.eu

Dynamic Bois

Insuffler une nouvelle Dynamique dans l'approvisionnement des chaufferies du Fonds chaleur

Les 24 projets de l'AMI « Dynamic Bois », démarrés en 2015, visent la mobilisation de plus de 4 millions de m³ sur 3 ans pour l'ensemble des usages. Une nouvelle édition de « *Dynamic Bois 2016* » sera dotée de 20 millions d'€ dans le cadre du Fonds Chaleur. Les projets doivent intégrer un bouquet d'actions cohérentes à l'échelle des bassins d'approvisionnement autour des 3 thématiques suivantes :

- investissements (matériels et immatériels) de la chaîne de collecte de biomasse,
- investissements pour l'amélioration des peuplements forestiers,
- animation des propriétaires forestiers et des opérateurs économiques, information et concertation locale.

PhotoFor

une base de données photographiques dédiée à la forêt



Par Sylvain Gaudin, CNPF-CRPF Champagne-Ardenne et Mireille Mouas, CNPF-IDF

PhotoFor est une base de données photographique en ligne. Cet outil mutualisé, mis en place par le CNPF, permet de sélectionner puis de télécharger avec rapidité et efficacité les photos recherchées.

Les photographies sont de plus en plus utilisées dans le monde professionnel forestier, par exemple pour expliquer une technique sylvicole, reconnaître les feuilles d'une essence ou témoigner d'une journée de formation sur le terrain. Par ailleurs, les supports pouvant présenter des images sont désormais nombreux et variés (revues, fiches de vulgarisation, posters, écrans, vidéoprojecteurs...). Utiliser une photo n'a jamais été aussi simple.

1) Mouas M., Gaudin S. ; 2014. *Sauver les photos de l'oubli ! Synthèse des résultats du groupe de travail*. État des lieux et préconisations pratiques. 7 fiches. [Document interne CNPF].

Bûcheron billonnant un chêne. La demande en photos techniques ou esthétiques est importante dans le secteur du développement forestier.

À l'heure de la prise de vue numérique, les photos se multiplient et il devient très vite difficile de gérer correctement un tel flot d'images. Sans classement, renseignement et archivage des photos, retrouver rapidement celle dont on a besoin est très compliqué. C'est en partant de ces constats qu'une réflexion a été conduite au sein du CNPF. Elle a abouti à la mise en place d'une gestion harmonisée des photos et d'une base de données photographique en ligne : *PhotoFor*.

Les flux de photos au sein du CNPF

La mise en place

La très grande majorité des images utilisées par le CNPF provient de prises de vues réalisées par ses personnels. C'est donc ce flux de photos qu'il convient d'organiser et de structurer. Lors de la fusion des CRPF et de l'IDF, la gestion des photos est apparue très variable d'un centre à l'autre. Afin de travailler efficacement ensemble, il fallait définir un socle commun de règles, tout en valorisant les travaux anciens disponibles.

Pour cela, des groupes de travail ont été mis en place dès le deuxième semestre de l'année 2012. Ils réunissaient une douzaine de personnes issues de différents centres motivées par ce thème, souhaitant faire profiter de leur expérience et s'impliquer dans une démarche commune. Les travaux de ces groupes de travail se sont étalés sur dix-huit mois. Ils ont permis d'aboutir à la réalisation de fiches techniques¹⁾ définissant l'organisation retenue et les préconisations à suivre. Une telle démarche est bénéfique pour tenir compte de toutes les particularités locales et proposer des procédures faisant consensus.

L'organisation

En raison de l'existence de nombreuses entités régionales au sein du CNPF, l'organisation des flux de photos est construite en conséquence (figure 1). Chaque photographe organise et sauvegarde localement ses photos. Il peut en sélectionner une partie pour abonder une base de données régionale. Les niveaux d'organisation des photothèques régionales sont très variables selon les différentes entités, mais un effort de structuration est en cours, les centres les moins avancés profitant de l'expérience des centres plus organisés.



Figure 1 - Les flux de photos au sein du CNPF

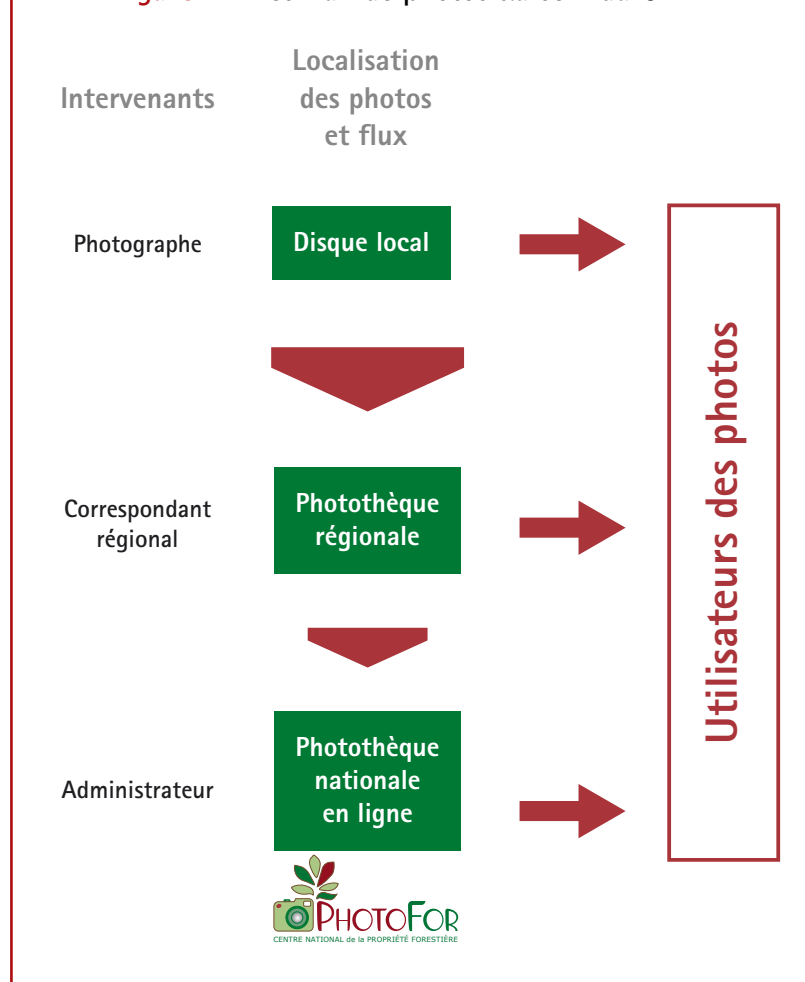


Figure 2 - Chaque fichier photographique peut intégrer des données textuelles qui consignent les informations techniques de prise de vue (EXIF) ou les renseignements caractérisant la photo (données IPTC : auteur, légende, mots-clés, lieu de prise de vue...).



Une partie des photos collectées en région peut ensuite rejoindre la base nationale. Le tri se fait selon les critères suivants : ne sont pas conservés les sujets déjà très fréquents dans la base, les variantes d'une même photo, les photos de dispositifs temporaires n'ayant qu'un intérêt régional... Cela permet de compiler uniquement des photos de qualité, présentant des thèmes ou des événements de portée nationale et répondant aux attentes des utilisateurs. Un correspondant dans chaque région assure ce tri. Il structure également la base régionale, forme ses collègues et répond aux demandes de photos.

Conformément aux choix effectués par le groupe de travail sur les photothèques, le standard international IPTC²⁾ est utilisé pour le renseignement des photos (figure 2). Chaque fichier contient en lui toutes les informations nécessaires pour son utilisation. Ce standard est indépendant des logiciels utilisés (tous les logiciels de traitement des images peuvent le lire). Ainsi chaque photographe ou chaque correspondant régional peut utiliser la solution logicielle de son choix, qu'elle soit gratuite ou payante, pour gérer ses photos, du moment qu'elle lit et écrit les données IPTC dans les photos. Des recommandations ont été formu-

lées par le groupe sur les champs à remplir obligatoirement ou de manière facultative, afin de travailler sur un socle commun.

L'élaboration d'un *thesaurus* (listes de mots-clés hiérarchisés incluant les synonymies), correspondant à nos besoins professionnels est une étape importante pour optimiser l'indexation des photos. S'il en existe déjà pour certains groupes faunistiques ou floristiques (oiseaux, amphibiens, odonates, lépidoptères, orchidées...) rien n'était disponible jusqu'à présent pour les termes techniques forestiers.

Après la finalisation des tâches du groupe de travail consacré aux mots-clés, un *thesaurus* comprenant plusieurs centaines de vocables techniques et regroupant la plupart des termes utiles pour renseigner des photos relatives à la forêt et aux milieux naturels est désormais disponible. Le travail d'attribution des mots-clés par le photographe en est simplifié : la saisie du mot-clé *éclaircie* va entraîner automatiquement l'entrée des mots-clés parents dont il dépend (*coupe, sylviculture, gestion forestière*). La standardisation des mots-clés facilite également la consultation et la recherche ultérieure des photos une fois qu'elles sont intégrées dans une base de données.

2) International Press Telecommunications Council.

La base de données PhotoFor

Une solution en ligne

Après la rédaction d'un cahier des charges et un appel d'offre, le logiciel *ePhoto* de la société *Einden* a été retenu pour la mise en place de la photothèque nationale *PhotoFor*, et installé lors du premier semestre 2014. La consultation de la base est possible depuis n'importe quel ordinateur ou téléphone équipé d'un navigateur et d'une connexion à internet, sous réserve de l'obtention d'un code personnel. Tous les salariés du CNPF y ont accès ainsi qu'un certain nombre de nos partenaires.

La collecte des photos

Les correspondants régionaux importent les photos qu'ils ont sélectionnées dans *PhotoFor*. Les informations présentes dans les données IPTC de chaque photo (auteur, légende, mots-clés...) ainsi que leur éventuel géoréférencement³⁾ sont automatiquement repris dans *PhotoFor* (figure 3).

Le travail de collecte des photos est plus ou moins avancé selon les régions. Certaines ont réalisé le tri de toutes leurs photos, structuré une photothèque régionale et effectué une sélection de photos pour abonder *PhotoFor*.

D'autres n'en sont qu'au début de ces tâches. À l'heure actuelle, la base est déjà riche de plus de 30 000 photos qui illustrent toute la diversité des forêts françaises et des activités liées à la forêt (figure 4).

Le flux actuel d'incorporation est supérieur à 5 000 photos par an. Il est conséquent en raison notamment du basculement vers *PhotoFor* des archives de certains CRPF, correspondant à une sélection sur plusieurs années de production photographique. Ne seront ensuite saisies que les nouvelles photos, au fur et à mesure de leur tri. Cependant, les structures sont encore nombreuses à ne pas avoir saisi de photos, il est donc probable que le flux dans les années à venir reste conséquent et représente plusieurs milliers de photos par an.

Recherche et téléchargement

Le renseignement, l'archivage et la mise à disposition de milliers de photos n'a de sens que si elles sont utilisées. Les méthodes de recherche au sein de *PhotoFor* sont multiples et peuvent être croisées entre elles : mot-clé, auteur, année de prise de vue, couleur dominante de la photo, secteur géographique... Après chaque recherche, une sélection de photos sous forme de vignettes est présentée pour permettre de faire son choix. L'utilisateur peut également visualiser les photos qui l'intéressent en mode plein écran, pour juger définitivement de leur intérêt.

Chaque utilisateur peut télécharger les photos qu'il souhaite utiliser, une à une ou en lot, après avoir créé une sélection. Le téléchargement est lié à l'acceptation des conditions d'utilisation, notamment pour respecter le droit d'auteur des photographes ayant mis leurs photos à disposition.

Les utilisateurs et le fonctionnement de la base

Les statistiques d'utilisation nous permettent de mesurer la fréquentation et l'intérêt de *PhotoFor*. Depuis sa mise en ligne il y a un an et demi, plus de 360 personnes se sont connectées au moins une fois. La fréquentation mensuelle est comprise entre 50 et 100 utilisateurs avec une tendance à la hausse ces derniers mois. Ce sont en moyenne 250 photos qui sont téléchargées tous les mois.

Les utilisations des photos téléchargées sont variées (figure 5). L'impression sur un support physique reste nettement majoritaire (87 %) par rapport aux sites internet ou à l'utilisation lors de vidéoprojections (13 %). Les images téléchargées sont utilisées principalement par

3) Martineau O.,
Petit B. ; 2015.

*Comment la photographie
peut devenir un outil
technique pour le forestier...*
Forêt-entreprise n° 225,
p. 6-11.

Figure 3 - Fenêtre de PhotoFor montrant les informations IPTC incluses dans une photo

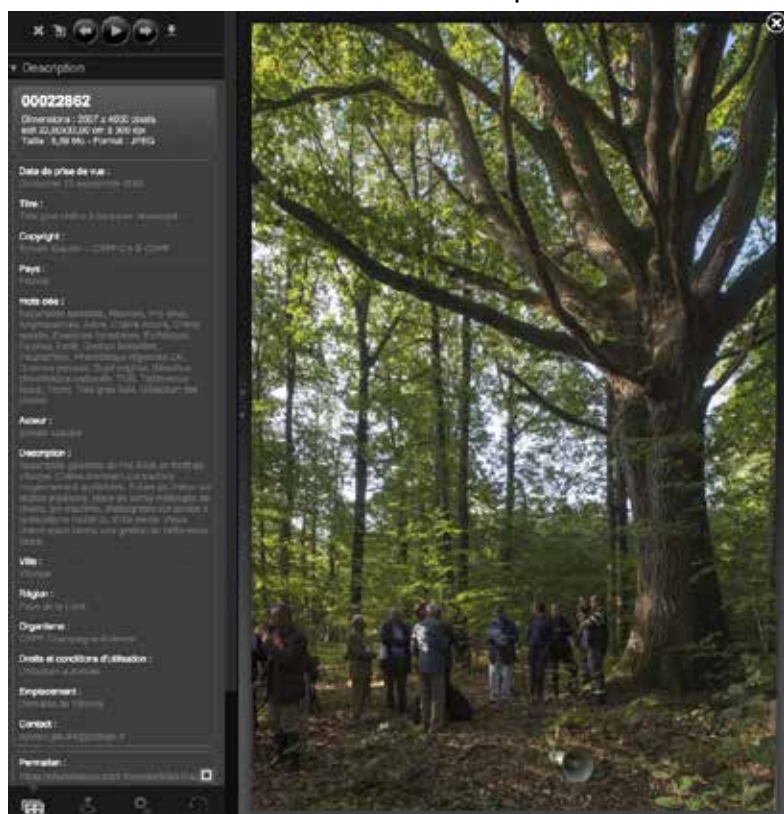
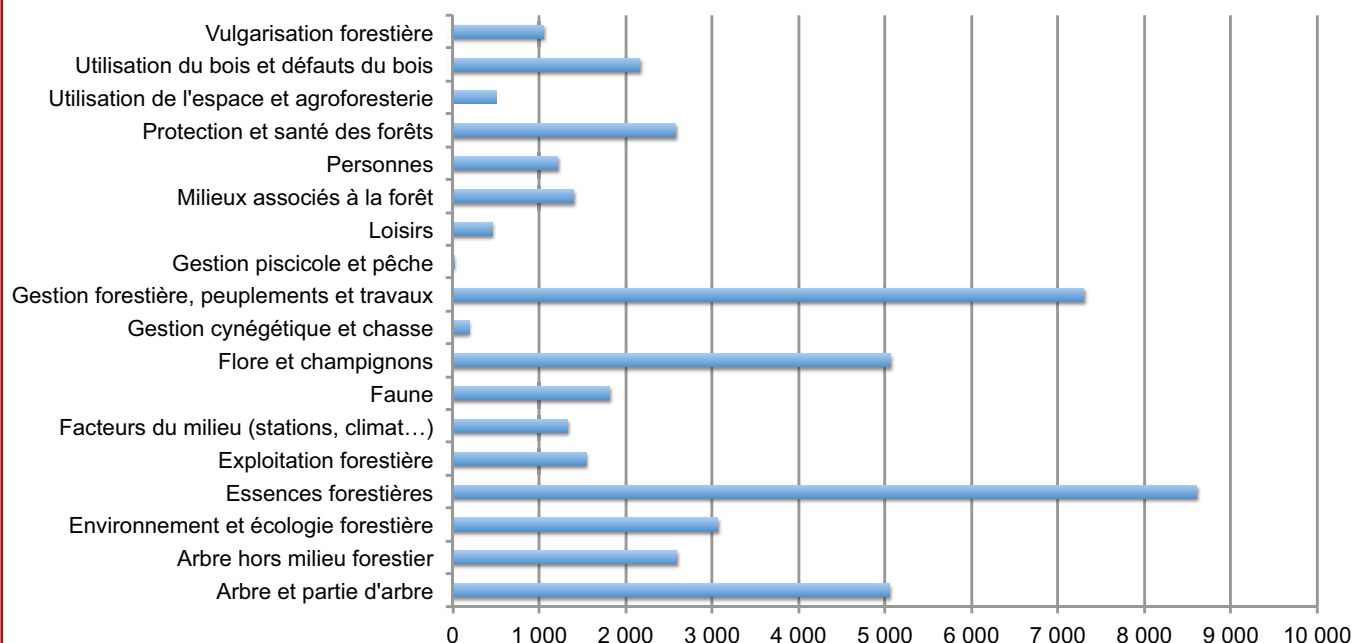


Figure 4 - Nombre de photos présentes dans *PhotoFor*, classées par grands thèmes (une même photo peut apparaître dans plusieurs thèmes)



les personnels du CNPF, mais certains de nos partenaires ont également accès à *PhotoFor* et l'utilisent régulièrement.

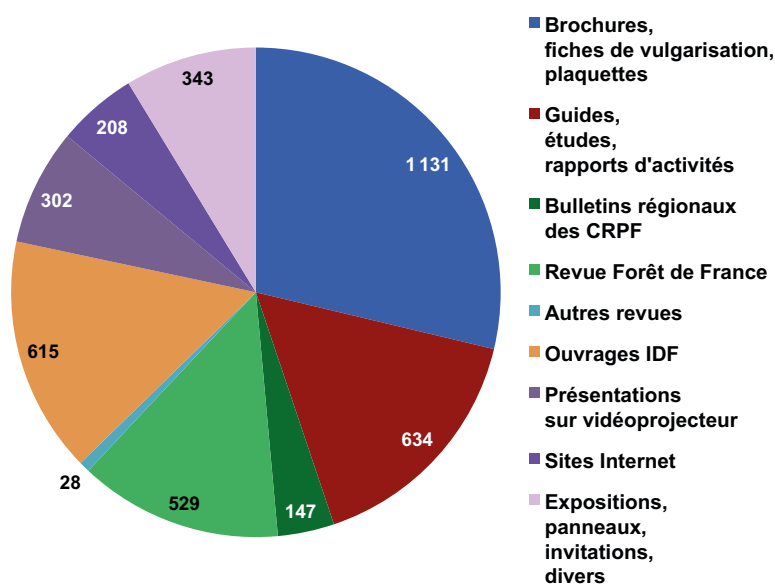
Le futur de *PhotoFor*

Bien que *PhotoFor* soit un outil pleinement fonctionnel, il est encore en phase de développement, dans la mesure où de nombreuses photos ayant vocation à y être ne sont pas encore intégrées. Sa consultation est principalement réservée aux personnels du CNPF actuellement, mais elle pourra être étendue par la suite à d'autres partenaires.

Conclusion

Gérer les photos numériques représente un investissement financier (coût des logiciels) mais aussi humain (temps consacré à la prise de vue, au classement, à la gestion des bases). Cet investissement permet d'obtenir une bonne organisation des images et de gagner en efficacité pour leur utilisation (recherche, partage, téléchargement...). Au delà de la base en ligne *PhotoFor*, un travail de mise en cohérence et d'harmonisation des pratiques a été réalisé en amont. Il s'est accompagné de formations à la prise de vue en forêt et au traitement des photos numériques. Un réseau de correspondants régionaux assure, dans ce domaine, un suivi technique et une animation. Il permet également d'optimiser outils et pratiques et de rester à l'écoute des souhaits des utilisateurs. ■

Figure 5 - Nombre de photos téléchargées sur *PhotoFor* depuis sa création réparties selon leur utilisation



Résumé

L'usage courant de photos par l'ensemble du CNPF a généré une réflexion globale sur leur classement et leur archivage. *PhotoFor* est une base de photos en ligne, issue de la mise en place de procédures communes et de la mutualisation des données régionales. Cet outil fonctionnel et efficace facilite la recherche et l'utilisation des images.

Mots-clés : Photographie, base de données, gestion documentaire, *PhotoFor*.

La chalarose du frêne en France

par Claude Husson¹⁾, Arnaud Dowkiw²⁾, François-Xavier Saintonge³⁾, Benoît Marçais¹⁾

1) Inra Nancy-Lorraine, UMR1136 Interactions Arbres-Microorganismes, F-54280 Champenoux, France.

2) Inra Val-de-Loire, UR0588 Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, Ardon, CS 40001, F-45075 Orléans Cedex 2.

3) Département de la Santé des Forêts, DRAAF Centre Val-de-Loire SRAL, 131 rue du Faubourg Bannier, 45042 Orléans Cedex 1.

1) part de la génétique dans la transmission de caractères.

L'expansion de la chalarose sur les frênes par le nord-est de la France continue, avec d'importants dégâts notamment dans les premières régions touchées par la maladie. Il est, avec raison, recommandé de préserver les frênes peu dépérissants pour constituer un réservoir d'individus résistants à la maladie.

La chalarose est une maladie émergente et létale des frênes commun et oxyphylle en Europe occidentale. Actuellement, seuls les pays méditerranéens ne sont pas touchés. En France, la sévérité des premières attaques observées en Franche-Comté en 2008 a rapidement conduit à préconiser l'arrêt de toutes plantations de frêne. Les taux de dépérissement et de mortalité, qui peuvent être considérables à une échelle locale, sont liés à la fois à des facteurs biotiques et abiotiques et à l'ancienneté de l'apparition de la maladie. Toutefois, la présence d'arbres tolérants parmi la frênaie et le fait que la résistance à la chalarose présente une héritabilité¹⁾ de bon niveau devrait assurer le maintien de l'espèce dans ses nombreux habitats (forêts, haies, ripisylves, parcs et jardins) à condition de les préserver de toutes coupes prématurées.

Émergence de la chalarose

Les premiers cas de dépérissements anormaux de frêne commun ont été signalés en Pologne dans les années 1990, mais ce n'est que plus d'une dizaine d'années plus tard, en 2006, que la cause de la maladie est formellement identifiée. Il s'agit d'un champignon pathogène nommé *Hymenoscyphus fraxineus* (forme asexuée *Chalara fraxinea*). Enfin, en 2012, il a été montré que ce pathogène n'est pas une espèce indigène en Europe et qu'il est très probablement originaire de l'est de l'Asie. Il y est en effet présent sur le frêne de Mandchourie, sur lequel il n'occasionne aucun dégât. Par conséquent, l'émergence de la chalarose en Europe est due à l'introduction d'un agent pathogène exotique, qui a réussi à s'établir sur un nouvel hôte sensible, le frêne commun, puis à se disperser très rapidement.

Figure 1 -
Fructifications
d'*Hymenoscyphus*
fraxineus,
appelées
apothécies, sur
rachis de frênes.



© Inra Nancy-Lorraine



© Inra Nancy-Lorraine

Figure 2 - Dépérissement de houppiers de frênes et nécrose sur tige.

Aujourd'hui, 25 ans environ après les premières mentions en Europe, *H. fraxineus* est devenu invasif et est présent de la côte atlantique à la Russie et de la Croatie à la Suède.

Signalons par ailleurs que le frêne oxyphylle présente également un risque élevé de dépérissement, car il est aussi sensible que le frêne commun. Cependant, l'invasion d'*H. fraxineus* n'a pas encore atteint l'aire de répartition de l'oxyphylle qui est limitée au pourtour méditerranéen. Enfin, la 3^e espèce de frêne indigène, le frêne à fleurs, ainsi que les espèces exotiques, frêne rouge et frêne d'Amérique, sujets de préoccupation dans les parcs, jardins et zones urbaines, sont cités comme peu sensibles et ne semblent pas être menacés par la chalarose.

Symptomatologie

Le champignon produit de petites fructifications blanchâtres facilement repérables en été sur les pétioles tombés au sol l'année précédente (figure 1). Des spores (organe microscopique infectieux) s'en échappent, sont véhiculées par le vent et attaquent les feuilles de frêne en août et septembre, formant des lésions foliaires brunâtres. Avant la chute prématurée des feuilles, le pathogène progresse lentement vers les pousses et rameaux de l'arbre où se développent des nécroses de couleur brun-orange assez typique. En cas d'infection sévère, le houppier présente de nombreuses extrémités de rameaux et branches mortes assez caractéristiques (figure 2). Notons que ce n'est pas un champignon vasculaire : sa progression dans le bois est relativement réduite et seule la multiplicité des points d'infection par les spores conduit à un dépérissement avancé. Par conséquent, il est possible d'observer des cas de rémission d'une année à

l'autre, si les conditions climatiques sont moins favorables à la production de spores et, par voie de conséquence, à l'infection des feuilles, point de départ de l'épidémie.

Dans les régions très infectées par la chalarose, à forte pression d'inoculum, comme en Franche-Comté, Lorraine, Nord-Pas de Calais et Picardie, des nécroses se développent au collet des arbres à partir du stade perchis jusqu'à une hauteur de 50 cm maximum au-dessus du sol et sur les grosses racines aériennes (figure 3). Il est très fréquent d'observer ensuite des attaques d'armillaire, sous forme de palmettes blanches, qui agissent alors comme un parasite secondaire. Le stade ultime est la mort de l'arbre, principalement chez les arbres jeunes. Dépérissements du houppier et surtout pourritures au niveau de la souche engendrent des risques de chutes de branches mortes, voire d'arbres entiers lors de l'exploitation des peuplements.



Figure 3 - Nécroses au collet sur arbres adultes causées par *Hymenoscyphus fraxineus*.

© Inra Nancy-Lorraine-Val-de-Loire

Par conséquent, des procédures de sécurité doivent être spécifiquement mises en place sur ce type de chantier. La Direction technique Alsace de l'ONF a rédigé un guide de bonnes pratiques pour prévenir les accidents.

Les niveaux de dépérissements du houppier et les taux de mortalité sont principalement dépendants de quatre facteurs : l'individu (résistance génétique), l'âge (les plus jeunes étant les plus sensibles), l'environnement (les milieux humides étant les plus favorables à la maladie) et la date d'arrivée du pathogène dans la région.

Répartition et dissémination

En France, le premier cas positif d'*H. fraxineus* a été détecté sur frêne commun en 2008 en Haute-Saône. Cependant, *a posteriori*, la formation de certaines nécroses au collet a pu être datée de 2007, ce qui signifie que l'introduction du pathogène remonte à au moins 2006. La figure 4 montre clairement que les premiers foyers de chalarose en France sont localisés en Franche-Comté et dans les Vosges.

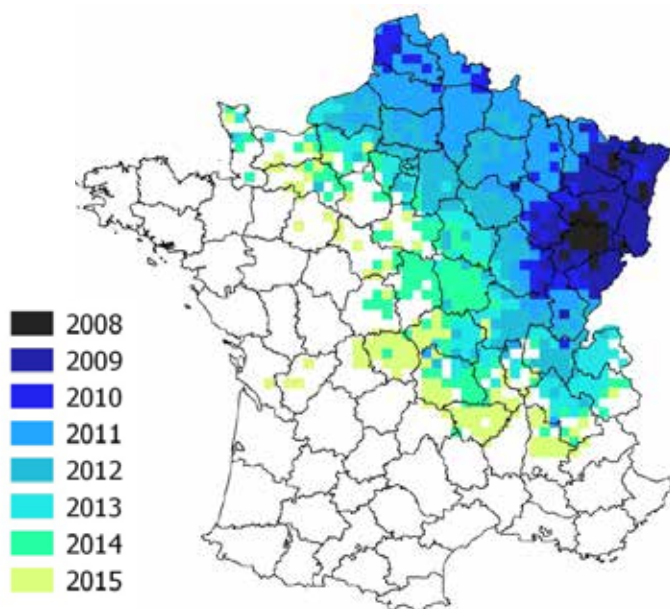
La propagation du champignon pathogène s'opère de deux façons : par voie humaine *via* le transport de plants infectés et par voie naturelle *via* la dispersion aérienne de spores infectieuses. La situation en Irlande, où la chalarose a été détectée dès le début de l'épidémie, a permis de montrer que les plantations de frênes ont occasionné plusieurs micro-foyers à partir desquels, dans certains cas, la chalarose se dissémine naturellement. En

France, le front de maladie évolue aujourd'hui progressivement vers l'ouest et le sud à une vitesse de 50 km par an. Notons toutefois qu'*H. fraxineus* semble être une espèce peu thermophile, comme le montre son absence dans la vallée du Rhône (figure 4). Ses capacités de dispersion aérienne des spores très efficace font que la chalarose s'est implantée partout où le frêne est présent au nord d'une ligne Laval-Limoges-Gap. Cependant, à un niveau parcellaire, il est fréquent que frênes sans symptômes et frênes dépérissants se côtoient, ce qui s'explique en partie par une variabilité génétique des individus dans la résistance à la maladie.

Impact et résistance

Des mesures d'impact de la maladie et de seuil de résistance ont été estimées dans les zones très infectées de l'Est de la France. La sévérité de la chalarose est très dépendante de l'âge des plants de frêne. Au stade semis, les dégâts sont assez spectaculaires. Les taux de mortalité annuelle avoisinent les 30 à 40 %. En 2015, seul 1 % des semis étaient asymptomatiques dans les régénérations étudiées et 5 % présentaient un dépérissement du houppier inférieur à 50 %. Chez les arbres adultes d'un diamètre supérieur à 25 cm à 130 cm de hauteur, 9 ans après l'observation des premiers symptômes, la mortalité annuelle est tout autre et reste assez faible, de l'ordre de 3 % (figure 5). Ainsi, contrairement aux premières craintes lors de l'arrivée de la maladie, les gros arbres meurent peu. Ce taux de mortalité est principalement conditionné, non pas par l'état du houppier les années précédentes, mais par la sévérité des nécroses au collet. Seuls les arbres avec une nécrose couvrant plus de 75 % de la circonférence au collet (degré de ceinturation) présentent un risque élevé de mortalité l'année suivante, proche de 10 % (figure 6). Or, la fréquence de ces arbres est encore faible aujourd'hui. Enfin, chez les arbres de catégorie intermédiaire (diamètre compris entre 5 et 25 cm), la mortalité annuelle globale est d'environ 10 %. Elle est très élevée (proche de 40 %) sur les arbres dont la ceinturation des nécroses au collet est supérieure à 75 %. Ainsi, la gestion du frêne dans les jeunes peuplements sévèrement atteints par la chalarose est totalement remise en cause, notamment dans le Nord et l'Est de la France. Hormis le taux de dépérissement et la mortalité, il a par ailleurs été montré récemment que l'impact de la chalarose sur la croissance des arbres est fort. En effet, dans le test Inra de provenance de frêne localisé à Devecey

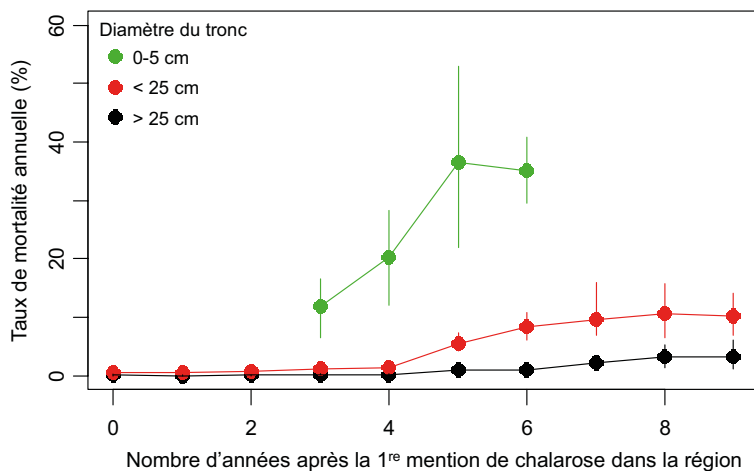
Figure 4 - Dates de première détection de la chalarose par quadrat de 16 x 16 km.



Source : DSF

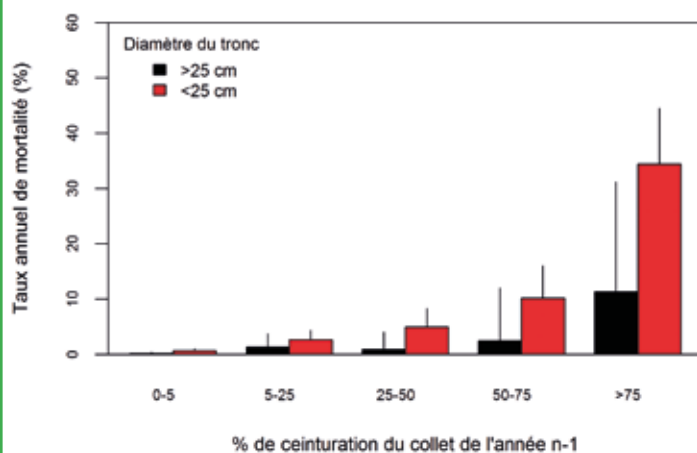
Figure 5 - Taux de mortalité chez les frênes selon trois catégories d'âge.

Le diamètre du tronc est mesuré à 130 cm de haut.



Source DSF-Inra Nancy-Lorraine

Figure 6 - Taux de mortalité chez les frênes selon la sévérité de l'infection au collet.



Source DSF-Inra Nancy-Lorraine

(Doubs), les arbres dépérissants à plus de 10 % voient leur croissance annuelle moyenne réduite de 35 à 60 % sur une période de 4 ans. Plusieurs indicateurs laissent cependant présager que, dans les régions très affectées, l'évolution de la maladie est ralentie. Chez les semis, la fréquence d'individus peu dépérissants se stabilise ; Dans le bas et haut-perchis, la mortalité annuelle atteint un plateau et la fréquence de sujets avec un seuil critique de ceinturation de l'infection au collet n'augmente plus. Une poursuite des suivis pluriannuels de frênaies est nécessaire pour confirmer cette évolution. Il est en effet possible que l'épidémie commence à atteindre son seuil le plus élevé et que les arbres signalés aujourd'hui comme peu dépérissants soient les plus résistants et ne présentent plus d'évolution de leurs symptômes. Il a en effet été montré dans plusieurs études françaises et européennes qu'il existe une grande variabilité dans la résistance à la maladie chez les frênes communs et que certains individus montrent des niveaux de résistance au niveau du houppier, mais aussi du collet, suffisamment importants pour contenir la maladie. Par ailleurs, pour les deux types de symptômes, la résistance présente une héritabilité de relativement bon niveau, ce qui signifie qu'elle est transmissible à sa descendance.

Conséquences pour la gestion des frênaies

Le premier recours pour lutter contre la maladie est, comme il l'a été recommandé dès 2008, l'arrêt des plantations à une échelle nationale, et ce pour deux raisons : premièrement, une plantation est vouée à l'échec dans les zones infectées et compromise dans les zones encore saines au regard de la progression du front de la maladie, et, deuxièmement, elle constitue un risque élevé d'introduction de

la chalarose dans les régions non atteintes. Pour les peuplements déjà en place, la gestion des frênaies sous pression de chalarose doit se raisonner à une échelle locale. La situation de certaines parcelles, particulièrement au stade semis-gaulis-perchis en Lorraine et dans le Nord-Pas de Calais-Picardie, est assez dramatique et sans espoir de rémission. Cette situation est cependant loin d'être le cas dans toute la zone contaminée en France et des actions de coupes définitives généralisées seraient très contre-productives pour le maintien de cette espèce. Par conséquent, et dans la mesure du possible en fonction de l'état des parcelles et du contexte économique, il est vivement recommandé de préserver les frênes peu dépérissants qui constituent très certainement un réservoir d'individus tolérants qui assureront une nouvelle génération de frênes plus résistants à la maladie. Rappelons qu'à partir du stade haut perchis, l'état du houppier n'est pas un critère satisfaisant pour évaluer le risque de mortalité des arbres. Seuls les individus avec une nécrose bien développée au collet présentent un risque élevé. Un guide rédigé par Delahaye *et al.* en 2015 (Forêt nature n°136) propose un outil d'aide à la gestion des frênes dans le contexte de la chalarose. ■

Formation IDF :

La santé des forêts - Orléans (45) - 11-12 octobre 2016

Renseignements et inscription : www.foretpriveefrancaise.com
en rubrique Services et formation - Tél : 02 38 71 61 14

Résumé

La chalarose, en progression vers l'ouest et le sud, entraîne le dépérissement de frênes en France. Les niveaux de dépérissement ou mortalité dépendent de la résistance génétique de l'individu, de son âge et de l'environnement. Après l'arrêt des plantations, il est recommandé de préserver les frênes peu dépérissants ; ils constitueront un réservoir d'individus résistants à la maladie.

Mots-clés : chalarose, évolution, dépérissement, résistance.

Chalfrax, un projet national sur la gestion des frênaies sinistrées par la chalarose

Par Benjamin Cano, CNPF-CRPF Nord-Pas de Calais-Picardie

Un projet ambitieux rassemble les acteurs forestiers pour élaborer des solutions de gestion des peuplements infectés par la chalarose.

CRPF Nord-Pas-de-Calais-Picardie, 96 rue Jean Moulin, F-80000 Amiens



Depuis la découverte en 2008 du premier foyer en Haute-Saône, les dépérissements de frênes provoqués par la chalarose suscitent inquiétude et scepticisme au sein de la filière forêt-bois. Selon toute hypothèse, la rapidité de propagation de cette maladie émergente et l'importance actuelle de la zone atteinte amoindrissent les probabilités d'éviter la contamination de l'ensemble du territoire national. C'est cette fulgurance qui explique probablement que l'extinction du frêne ait très vite été évoquée, en conséquence d'un catastrophisme prévisible de situation de crise. Néanmoins, l'approfondissement des connaissances sur ce champignon jusqu'alors inconnu a mis en évidence l'intérêt de bien connaître le sujet avant de diffuser un tel message pouvant avoir des répercussions non souhaitées et parfois préjudiciables.

À la lueur des résultats obtenus d'investigations actives des organismes de recherche (Inra) et du Département de la santé des forêts (DSF), il est aujourd'hui certain que des coupes brutales de récoltes anticipées et désordonnées, justifiées par des principes de précaution, pourraient générer des dommages collatéraux irréversibles et de graves répercussions sur la filière utilisatrice de cette ressource. De telles mesures apparaissent injustifiées au regard de la variabilité de l'impact de la maladie au sein des peuplements et des territoires. L'influence du contexte géographique et sylvicole sur l'émergence des foyers, la pression de l'inoculum, la précocité et l'agressivité des attaques sont autant de

paramètres incontournables pour appréhender les marges de manœuvre dont disposent les gestionnaires. Il est certain que l'épidémie de chalarose impacte durablement les peuplements de frênes et compromet à court terme sa sylviculture telle qu'elle a pu être traditionnellement pratiquée. À plus long terme, le maintien de l'espèce sur le territoire dépendra de sa capacité à vivre avec le pathogène. De ce fait, si dans des peuplements fortement infectés, certains individus sont constatés durablement indemnes de symptômes, il est important de les repérer et de les préserver. Ces survivants pourraient devenir les fondateurs de prochaines générations, capables de survivre en présence de la chalarose. Ainsi, qu'il s'agisse d'impacts économiques, environnementaux ou sociaux, les fondements de la gestion durable des forêts sont menacés par l'arrivée de cette maladie. Au regard de cette situation évoluant défavorablement pour le frêne, et dans l'hypothèse d'un rythme invariable d'évolution des dégâts, la question de l'avenir des frênaies françaises soulève une réflexion sur les enjeux d'une telle crise. Le renouvellement des peuplements, l'engorgement des marchés du fait d'une augmentation sensible des récoltes, la dépréciation à moyen terme des produits commercialisables, le tassement des sols lié à des exploitations massives, ou encore l'isolement des autres essences, sont autant de ces enjeux, dont le niveau d'importance dépend de la typicité des terroirs régionaux, du statut de la propriété forestière (privé/public) ainsi que de l'évolution future de l'épidémie.

Chalfrax poursuit l'ambition d'élaborer une stratégie harmonisée au niveau national, au service des politiques forestières pour la gestion des frênaies sinistrées par la chalarose, avec des propositions au terme de ses 5 années d'investigations :

- des solutions techniques tenant compte des mécanismes infectieux du champignon sur son hôte,
- des opportunités de profiter d'une population génétiquement tolérante,
- une expérience acquise dans les pays voisins de la Communauté européenne touchés avant la France,
- un inventaire des caractéristiques de la ressource au sein des bassins de production français,
- une visibilité de l'impact prévisible d'une gestion de crise sur le marché des bois.

Bâti à partir des compétences recensées des partenaires opérateurs, le projet articule ses actions selon 5 axes transversaux d'investigations, dont les objectifs et restitutions alimenteront avantagement l'élaboration de la stratégie nationale.

Il devenait par conséquent nécessaire de proposer aux gestionnaires des solutions techniques conscientes de la variabilité contextuelle pour réorienter la gestion des peuplements infectés, solutions qu'il convient de tester rapidement pour en établir la pertinence et en évaluer le coût. Né de cette nécessité exprimée par la filière forêt-bois de se mobiliser pour traverser cette crise sanitaire sans précédent, un projet d'envergure nationale, porté par le CNPF, a vu le jour en 2014 grâce au soutien financier du ministère de l'Agriculture et de France Bois Forêt, interprofession chargée de collecter la CVO¹⁾. Ce projet de recherche et de développement, baptisé *Chalfrax*, prévoit de mobiliser un vaste partenariat associant organismes de recherche et services du ministère de l'Agriculture (Inra, DSF), mais aussi établissements publics (CNPF, ONF), gestionnaires de la forêt privée (UCFF²⁾, experts forestiers) ou encore acteurs de la filière bois (Fédération nationale du bois, groupes de développement de la forêt privée, autres).

Axe 1 - Résistance et tolérance génétique

Identifier et estimer la part de la composante génétique dans la résistance à la chalarose et initier la constitution d'une population de frênes tolérants.

Axe 2 - Contexte infectieux et expression des dégâts

Expérimenter des scénarii sylvicoles pour

contenir le développement de la maladie à l'échelle d'une parcelle.

Axe 3 - Stratégies de gestion

Élaborer des outils accessibles de diagnostic permettant d'appréhender l'état de santé d'un peuplement dans le but de fournir une aide à la décision sous forme d'itinéraires sylvicoles testés et adaptés à une part majoritaire des situations rencontrées dans les bassins de production prioritaires.

Axe 4 - Qualité du bois et valorisation économique

Évaluer la ressource française en bois de frêne, mesurer l'impact de la chalarose sur la qualité du bois et sur la productivité des arbres adultes pour élaborer des stratégies de valorisation de la filière bois.

Axe 5 - Communication

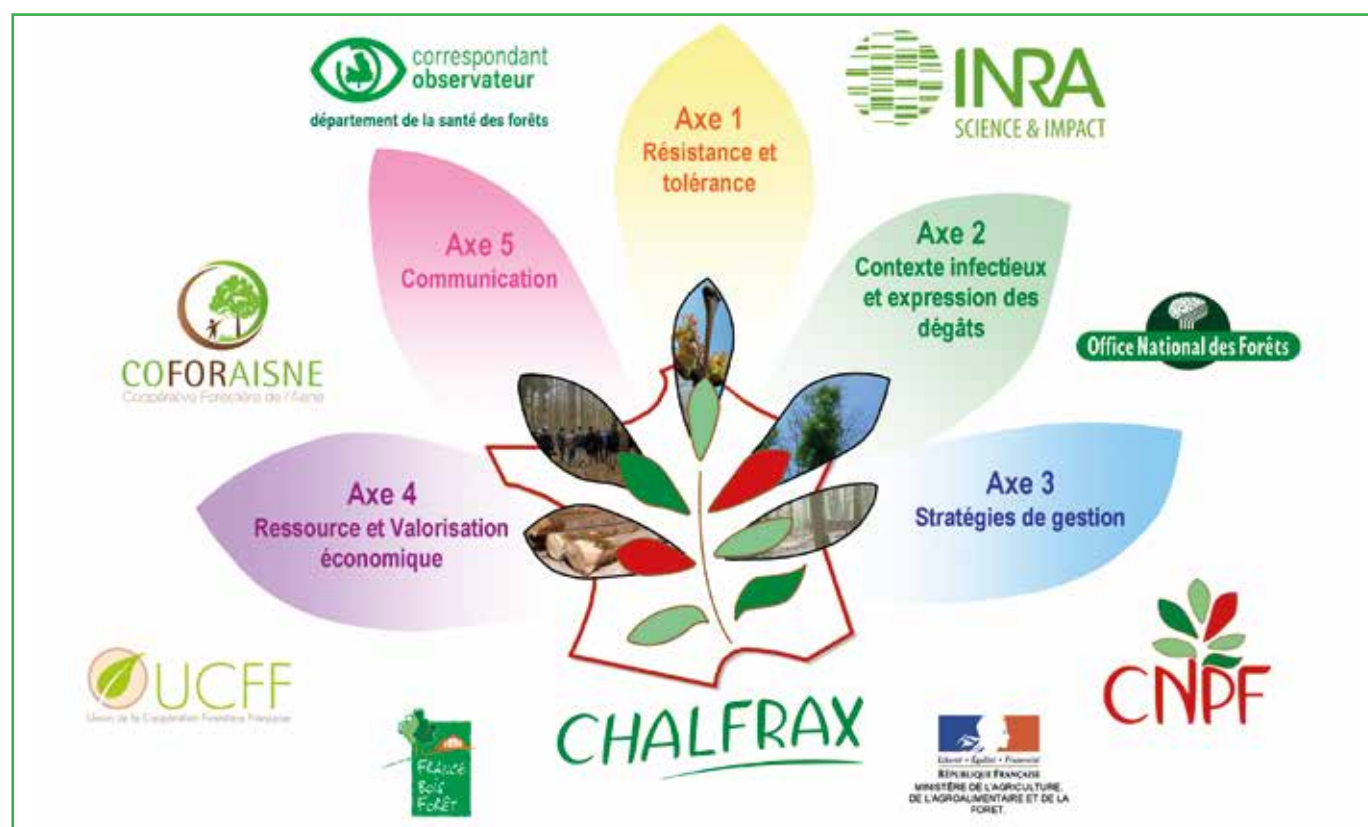
Cultiver les synergies transfrontalières en tirant profit de l'expérience des pays européens touchés par la chalarose antérieurement à la France. Restituer et communiquer l'ensemble des résultats par l'édition d'un ouvrage de référence (guide national), la publication d'articles de vulgarisation et l'organisation d'un colloque national.

L'aboutissement de ce projet est prévu en 2019, prenant l'engagement de livrer aux propriétaires et gestionnaires des solutions techniques et pragmatiques pour réorienter la gestion des peuplements de frênes infectés par la chalarose. ■

1) Contribution volontaire obligatoire

2) Union des coopératives forestières françaises.

Contact : Benjamin Cano, CRPF Nord-Pas-de-Calais-Picardie, coordinateur du projet, benjamin.cano@crpf.fr





Les typologies des stations forestières des outils d'actualité !

Par Thomas Brusten, CNPF-IDF

Depuis plus de 40 ans, plusieurs générations de forestiers se sont attachées à décrire les stations forestières¹⁾ de leurs bois et massifs puis à les classer en fonction du climat, de la topographie, du sol et de la végétation naturelle. Pourquoi un engouement si durable ? Quels sont les outils disponibles aujourd'hui ? Et comment évoluent-ils pour répondre aux besoins des utilisateurs ? Ce dossier fait le point sur ce sujet.

Pourquoi décrire les stations forestières ?

Combinée à une carte des peuplements, la connaissance des stations sur une forêt donnée permet au gestionnaire forestier d'orienter ses choix de gestion. L'intérêt le plus évident de connaître les stations est, comme le dit l'adage, de « Mettre la bonne essence au bon endroit ». Respecter les besoins des essences forestières (alimentation hydrique et minérale, lumière, chaleur) pour leur développement est essentiel pour assurer la pérennité et la vitalité des peuplements forestiers. Quelles que soient les prévisions du climat futur, une

gestion durable des écosystèmes forestiers doit tout d'abord s'assurer de l'adéquation des essences aux stations forestières actuelles. Les préoccupations environnementales allant grandissant depuis les années 1990, le domaine d'applications des typologies de stations forestières s'est élargi progressivement à d'autres questions comme l'évaluation du patrimoine naturel, de la biodiversité ou encore de la sensibilité des sols lors des exploitations.

Des observations de terrain aux bases de données écologiques...

L'étude des stations est une démarche dite « de terrain ». Ce n'est qu'en évaluant lors d'un sondage à la tarière la texture d'un sol, sa charge en éléments grossiers, son drainage interne..., en reconnaissant dans le sous-bois diverses plantes indicatrices des caractéristiques du milieu, en scrutant de près les formes d'humus... que l'on caractérise finement les stations forestières. Ces nombreuses données, récoltées sur le terrain, peuvent alimenter de grandes bases de données écologiques contribuant ensuite à caractériser la variabilité des stations et leurs potentialités sur des massifs forestiers, des régions forestières ou même la France entière.

1) **Station forestière** : portion de terrain homogène dans ses conditions écologiques (topographie, sol, climat et végétation spontanée).

Sommaire

- 18 La typologie des stations forestières en France : état des lieux
- 28 Décrire les stations forestières pour veiller à satisfaire les besoins des arbres
- 34 Des données spatialisées au service de la description du milieu
- 39 Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage
- 44 Le projet EcoGéoDyn en Normandie : des cartes prédictives aux utilisations pratiques dans les forêts normandes
- 49 Typologie des stations forestières et choix des essences en contexte de changements climatiques
- 55 Les études de stations forestières : l'implication d'un CETEF



Thomas Brusten, ingénieur à l'Institut pour le développement forestier, est chargé de coordonner les actions du CNPF liées aux stations et aux habitats forestiers.



Sylvain Gaudin, ingénieur au CRPF de Champagne-Ardenne est chargé de la conception de documents (guides de stations, outils d'aide à la détermination des stations), du développement (organisation de formations, création de supports pédagogiques...) et de la recherche appliquée (méthodologies de cartographie, intégration des changements climatiques dans les guides de stations, élaboration des groupes écologiques...).



Florentin Madrolles, ingénieur chargé de mission EcoGéoDyn au CRPF Normandie, est chargé de la révision des guides de stations normands, de la mise en place de cartes prédictives des stations forestières avec la prise en compte des changements climatiques en Normandie et dans le Nord-ouest (RMT Aforce), à partir d'outils allant du terrain jusqu'à la modélisation et la spatialisation SIG.

Nous verrons les principales applications de ces bases de données en lien avec la description des stations et l'évaluation de leurs potentialités.

Les cartes de stations : intérêt et méthodes !

La carte des stations est un outil précieux dans l'aménagement forestier : elle permet de connaître pour chaque unité de gestion les potentialités (fertilité, essences adaptées...) et les risques des exploitations (tassement, appauvrissement chimique...). Nous comparerons les différentes méthodes de cartographie de stations, leurs limites et intérêts respectifs, en nous appuyant sur les travaux des CRPF et des recherches encadrées ces dernières années par le Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois (Lerfob - AgroParisTech) sur la modélisation et la cartographie des facteurs du milieu. Nous présenterons aussi l'approche novatrice du projet EcoGéoDyn développée par le CRPF de Normandie, qui consiste à établir une cartographie prédictive des stations sur l'ensemble des forêts normandes couplées à un guide pour le choix des essences.

Le climat change, les stations évoluent, les forestiers s'adaptent !

La plupart des guides et catalogues des stations, s'ils s'avèrent souvent être d'excellentes monographies sur la variabilité des stations et de leurs potentialités actuelles, sont cependant limités en ce qui concerne l'impact des changements du climat sur les caractéristiques des stations, et leur incidence sur le choix des essences. Créé en 2008, le RMT Aforce²⁾ a largement contribué à soutenir des actions liées au développement d'outils innovants et à la mise à disposition des connaissances sur le sujet (études sur l'autécologie et le dépérissement des essences, modélisation et cartographie du bilan hydrique des sols forestiers...). Nous faisons le point sur les outils pratiques développés en lien avec cette problématique : **comment adapter les guides de choix des essences en contexte de changement climatique ?**

Le CETEF Garonnais a œuvré à la réalisation d'études des stations forestières, et démontre l'utilité de ces outils développés pour répondre aux besoins des gestionnaires forestiers.

Bon diagnostic de vos stations, suite à la lecture de ce dossier !

Remerciements

Les auteurs de ce dossier remercient vivement pour leur relecture d'une partie ou de l'ensemble des articles les personnes suivantes : M. Chartier¹⁾, G. Dumé, B. Jabiol²⁾, Ch. Piedallu²⁾, I. Seynave²⁾, V. Perez²⁾ ainsi que le comité de relecture de Forêt-entreprise.

1) IDF-CNPF - 2) Lerfob-AgroParisTech-Inra.



2) Réseau Mixte Technologique (RMT) consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique. Voir le dossier de Forêt-entreprise n° 217.

La typologie des stations forestières en France : état des lieux

Par Thomas Brusten et François Charnet, CNPF- Institut pour le développement forestier

Depuis quand la typologie des stations forestières existe-t-elle ? Quelles sont les documents typologiques disponibles et quelles sont leurs utilisations pratiques ? Après une mise en perspective historique, cet article rappelle les concepts de cette démarche fondamentale pour tout forestier.

Historique et principales utilisations

Quand on parcourt un massif forestier, on observe généralement différents milieux : secs ou humides, plus ou moins riches en éléments nutritifs pour les arbres... Cette notion de milieu étant assez large, les forestiers lui ont substitué la notion de **station forestière**, désignant une **étendue de terrain homogène** sur les plans du **climat, du relief, du sol et de la végétation spontanée**. Ces caractéristiques écologiques définissant les stations sont intimement liées, et le changement d'une d'entre elles s'accompagne souvent du changement des autres et donc, *in fine*, de la station (figure 1).

Quelques définitions

La typologie des stations forestières a pour objectif la mise en évidence et l'étude des **types de station**, unités conceptuelles élaborées par le regroupement et la synthèse de plusieurs stations observées sur le terrain. Ces types sont présentés dans un **catalogue des stations** d'une **région forestière** donnée. Pour une essence déterminée dans un type de station, le forestier peut espérer une certaine productivité. Les études de stations permettent ainsi de mettre entre les mains des gestionnaires des outils pratiques pour appréhender sur le terrain la variabilité écologique des forêts afin d'y optimiser leur gestion, en particulier le choix des essences.

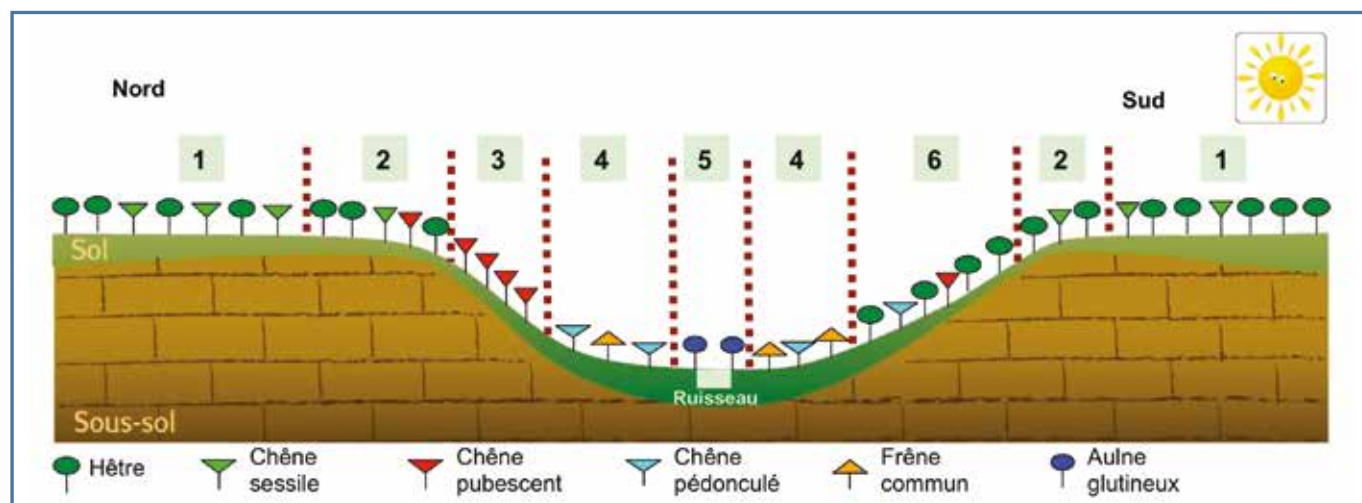


Figure 1 - Position de six types de stations le long d'une vallée. La diversité des stations est étroitement liée aux variations du sol, en relation avec celles du sous-sol (roche mère) et du relief (pente, exposition...) (D'après une illustration du CRPF Nord-Picardie, modifiée).
1. Hêtraie-chênaie sur sol limoneux acide et épais de plateau ; 2. Hêtraie-chênaie sur sol limoneux peu acide et superficiel de haut de versant ; 3. Chênaie pubescente sur sol calcaire et sec de versant exposé au sud ; 4. Chênaie pédonculée-frênaie sur sol riche et frais de bas de versant ; 5. Aulnaie sur sol marécageux ; 6. Hêtraie-chênaie sur sol calcaire et frais de versant exposé au nord.

Type de station forestière : ensemble de stations semblables par leurs caractéristiques écologiques (climat, position topographique, sol...) et floristiques (composition et dynamique de la végétation naturelle).

Catalogue des stations : document présentant l'inventaire de tous les types de station présents dans une région forestière et leur description précise, ainsi que des critères simples pour les reconnaître sur le terrain.

Région forestière : division territoriale, si possible traditionnellement reconnue, relativement homogène quant aux conditions climatiques, et se signalant par des traits originaux des terrains affleurants, du relief et des paysages forestiers.

Historique de la démarche en France

Les catalogues des stations ont été initiés dans les années 1960 sous l'impulsion de l'École des eaux et forêts à Nancy (par Philippe Duchaufour, pionnier de la pédologie en France) et de l'Institut national de recherche agronomique (Inra). Les premiers catalogues, édités par l'Inra et l'Office national des forêts à la fin des années 1970, concernaient les régions de l'Est (plateaux, collines et basses montagnes de Lorraine).

Le groupe de travail typologie des stations

C'est en 1979, à l'initiative de l'Institut pour le développement forestier (IDF), que le **groupe de travail Typologie des stations forestières** fut créé. Ce groupe, soutenu par le ministère de l'Agriculture et composé de membres issus d'horizons variés, eut pour objectif d'établir des recommandations pour une mise en œuvre réussie des différentes études. Dès 1987, une filière diplômante pour faciliter le développement des outils sur le terrain fut mise en place, en visant d'abord les formateurs et gestionnaires (techniciens, ingénieurs et experts forestiers), certains devant assurer dans un deuxième temps le transfert auprès d'autres utilisateurs finaux (propriétaires-sylviculteurs). En parallèle, le ministère alloua dès 1981 des crédits pour l'aide à la réalisation d'études des stations forestières. Ces financements, appuyés souvent par des crédits régionaux, permirent la réalisation de nombreux catalogues couvrant une bonne partie du territoire. Dans un souci de vulgarisation des documents produits, il est ensuite apparu la nécessité de développer des **guides simplifiés des stations**, aussi appelés **guides pour les choix des essences**. Ces guides, outils véritablement opérationnels pour les gestionnaires, fournissent pour chaque **unité**

stationnelle (regroupement de types de station ayant des potentialités sylvicoles assez proches) des informations concrètes liées aux stations : fertilité, choix des essences, protection des milieux et des sols¹⁾... (tableau 1). Les premiers d'entre eux ont été édités au début des années 1990.

La relance du programme

En 1998, une enquête fut réalisée par le Cemagref²⁾ sur les typologies des stations et leur utilisation au niveau national. Cette étude révéla deux points problématiques des outils existants :

> **une certaine hétérogénéité des documents produits**. Elle témoigne de l'évolution et de la diversité des cadres d'établissement de ces documents (laboratoires universitaires, instituts publics, bureaux d'études) entraînant des spécificités méthodologiques ;

> **un faible emploi de ces outils par les gestionnaires forestiers**, aussi bien pour la description des milieux que pour l'aménagement. Ce point plus problématique, est dû à une relative complexité des catalogues, une méconnaissance de leur existence et au faible développement de conclusions utiles pour la gestion forestière dans les catalogues.

Suite à ce bilan, les régions Champagne-Ardenne et Rhône-Alpes furent chargées d'expérimenter des nouvelles méthodologies de travail. Avec cette relance du programme de typologie, de nouvelles aides ministérielles et régionales furent octroyées. Cela a contribué à la réalisation de nombreux guides simples d'utilisation et répondant aux attentes des utilisateurs ; le format et le contenu de ces guides se sont progressivement homogénéisés (figure 2). Enfin, la formation des gestionnaires à leur utilisation et le développement de la cartographie des stations³⁾ dans les documents de gestion furent amplifiés. L'Inventaire forestier national (IFN) se vit chargé par le ministère

1) Forêt & Dumé, 2006.

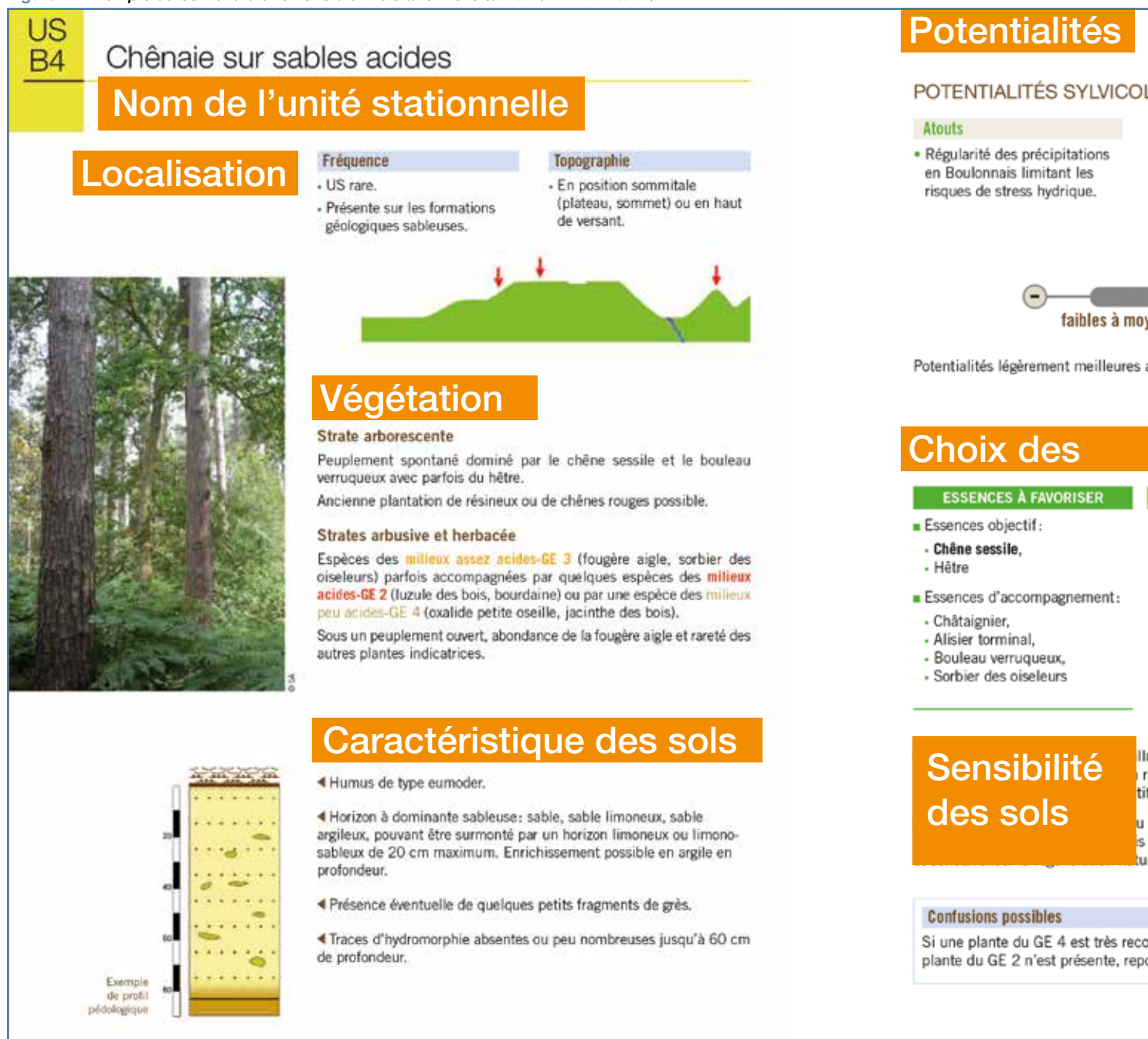
2) Devenu IRSTEA, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

3) Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage, p. 39 du dossier.

Tableau 1 - Comparaison des catalogues et des guides simplifiés des stations forestières

Documents typologiques	Unité de base	Description des stations	Conseils de mise en valeur forestière	Utilisateurs potentiels	Niveau de complexité
Catalogue des stations	Type de station	Détaillée	Souvent : choix des essences appropriées	Gestionnaires, écologues et propriétaires forestiers formés, selon le niveau de complexité du document	Assez élevé
Guide simplifié (et guide pour le choix des essences)	Unité stationnelle	Simplifiée	Choix des essences et souvent : sensibilité des sols, intérêts écologiques (habitats, biodiversité)...		Moyen à faible

Figure 2 - Exemple du contenu d'une fiche d'unité stationnelle (Source : CRPF Nord-Picardie).



4) IFN, 2004.
La typologie des stations forestières, L'IF n° 4.

d'une mission permanente d'animation, d'expertise et de coordination en la matière »⁴⁾.

Les guides des stations : des outils simplifiés pour des usages diversifiés !

Les guides simplifiés des stations visent à rendre les typologies accessibles à un public plus large tout en développant davantage les conseils de gestion adaptés aux stations. Les utilisateurs de ces outils sont les gestionnaires forestiers et certains propriétaires ayant des connaissances en écologie forestière. **La reconnaissance des unités stationnelles (US)** sur le terrain se fait à travers **une clé de détermination** construite sur des critères simples à observer sur le terrain (position topographique, caractéristique du sol, flore). La

clé de détermination renvoie à **une fiche pour chaque station**. Dans celles-ci, une première partie concerne des informations synthétiques sur l'US permettant de confirmer le diagnostic : localisation, végétation typique, caractères essentiels du sol (humus, hydromorphie, charge en cailloux, texture et profondeur des différents horizons...). Une seconde partie concerne les potentialités de la station et les recommandations de gestion adaptées à celles-ci. Identifier les stations forestières permet d'estimer les potentialités de la station et les essences les plus appropriées, c'est une démarche fondamentale pour de nombreux projets forestiers : reboisement, régénération naturelle, martelage... Depuis les années 1990, les préoccupations environnementales ont grandi et le domaine d'application des guides

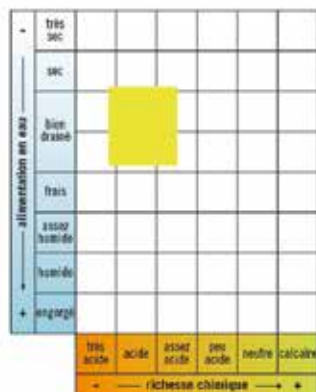
ES

Contraintes

- Pauvreté nutritive.
- Faible réserve en eau du sol.
- Position topographique générant des départs latéraux en eau supérieurs aux apports.

essences

avec un sol sablo-argileux.

**essences adaptées****AUTRES POSSIBILITÉS**

- Mélèze,
- Pin laricio,
- Pin sylvestre,
- Chêne rouge

Essence nécessitant des précautions d'usage. Se référer à l'annexe 1, p. 96.

TENTATIONS À ÉVITER

- Essences nécessitant une réserve en eau plus élevée (chêne pédonculé...)
- Essences nécessitant une richesse chimique plus élevée (douglas, érable sycomore...)
- Le robinier faux acacia, en raison des risques d'eutrophisation* déséquilibrée

Intérêts écologiques

la directive habitats - (n°2000/60/CE)
Présence possible de luzule des bois (*Luzula sylvatica*) ou de myrtille (*Vaccinium myrtillus*) protégées en Nord-Pas de Calais.

u (bouleaux, sorbier des épineux) limite le risque de départs latéraux.

peuplement, la luzule des bois, peuvent fortement se développer.

ouvrante (> 25%) et qu'aucune n'apporte pas de risque.

simplifiés s'est élargi à d'autres questions, en particulier la préservation des sols, des milieux fragiles et de la biodiversité.

Potentialités de l'unité stationnelle

Les atouts et les contraintes de chaque unité stationnelle pour la croissance des arbres sont identifiés et permettent de déterminer un niveau de fertilité globale pour chaque station. Connaître ce niveau de fertilité permet de cibler les investissements financiers dans les stations les plus productives. *A contrario*, les stations les moins fertiles, généralement impropres à la production de bois d'œuvre, sont identifiées : elles sont souvent liées à des milieux rares et à forts enjeux pour la biodiversité (landes, zones humides, pelouses calcaires...).

Choix des essences adaptées

La rubrique du choix des essences est la raison d'être des typologies des stations. L'utilisateur peut consulter les essences à favoriser (en tant qu'essences objectifs ou d'accompagnement) ou à éviter. Ces conseils sont émis « à dire d'expert », en fonction des connaissances des rédacteurs du guide sur l'autécologie des essences dans la région concernée. Notons que les guides simplifiés n'ont pas pour vocation d'être des guides de sylviculture. Les conseils fournis s'arrêtent au choix des essences et parfois aux objectifs atteignables (bois d'œuvre, bois de chauffage...), mais certains guides de sylviculture ont judicieusement établi un lien avec les typologies de station de la région étudiée. Citons, par exemple, les guides des sylvicultures de montagne dans les Alpes, les guides du sylviculteur dans l'Allier, le guide de la châtaigneraie corse...

Potentialité d'une station forestière

: Ensemble des ressources possibles d'une station (biologiques, forestières, agricoles ou de loisir), en quantité ou en qualité, en relation avec une gestion appropriée.

Fertilité : potentiel de production d'un peuplement forestier. La fertilité est liée aux facteurs écologiques caractérisant les stations.

S. Gaudin - CRPF CA © CNPF

Un gradient de fertilité est clairement observable : les arbres du bas de la plantation sont plus grands que ceux du haut, pourtant du même âge. Il s'agit d'une différence de fertilité sans doute liée aux caractéristiques du sol (profondeur, richesse chimique...)





Sondage à la tarière pédologique pour connaître les caractéristiques du sol.

Sensibilité des sols

Certains guides récents donnent une information sur la sensibilité des sols forestiers. Il s'agit généralement de précautions à prendre lors de l'exploitation pour préserver la fertilité de l'US. Parmi les thèmes les plus traités, on peut signaler :

> la sensibilité au tassement : ce problème est le plus aigu dans les stations dont le sol, en raison d'un drainage naturel déficient ou d'une texture limoneuse, a une faible portance. Cet aspect a été traité dans des publications récentes, comme le guide Prosol⁶⁾ ;

> le risque d'appauvrissement chimique : dans les stations où le sol a de faibles réserves minérales et une rotation lente des stocks de nutriments (en rapport avec une faible activité biologique), toute intensification de la sylviculture (rotations courtes, récolte des rémanents, enrésinements) peut s'accompagner d'un appauvrissement chimique du sol et d'une baisse de la fertilité à court terme. Des apports correctifs par fertilisants ou amendements sont envisageables. Pour juger de leur utilité et de leur niveau, les critères stationnels et sylvicoles sont déterminants. Le Guide sur la gestion raisonnée des rémanents⁶⁾ est un exemple de support de décision ; L'économie en eau dans les sols est primordiale et va être de plus en plus traitée : assèchement du sol lié à l'ouverture de fossé sur peuplement adulte, maîtrise du sous-étage, remontées de « nappe » provoquées par les coupes à blanc...

5) Pischedda *et al.*, 2009.
<http://data38.fcba.fr/prosol/BrochureElectronique.html>.

6) Cacot *et al.*, 2006.
<http://www.ademe.fr/recolte-raisonnee-remanents-foret>.

7) Forêt-entreprise n° 162 et n° 217.

Autécologie : étude de l'action du milieu sur la morphologie, la physiologie et le comportement d'une espèce.

Habitat : lieu où vit une espèce, une population ou une communauté. Il correspond aux composantes vivantes et non vivantes de son environnement immédiat. Par rapport à la station, l'habitat intègre en plus la faune qui s'y alimente, s'y reproduit ou s'y repose.

Intérêts écologiques

Les guides plus récents indiquent pour chaque station, les habitats potentiellement observables, en particulier ceux visés par la Directive européenne « Habitats, Faune, Flore ». La typologie de certains guides simplifiés est même parfois construite à travers une classification d'habitats, comme c'est le cas en région Centre. Parfois, des informations sont fournies sur la flore rare ou menacée potentiellement présente sur les unités stationnelles.

Quelques applications en montagne

La gestion des reboisements de montagne constitue un bel exemple de gestion forestière obligée de tenir compte des facteurs stationnels, en raison de conditions particulièrement contraignantes (climat, relief, usages pastoraux...). Les reboisements historiques du mont Aigoual en sont un exemple type. Encore s'agit-il de mesures extrêmes de génie forestier appliquées à des cas où la station a été dénaturée (sols érodés).

Perspectives d'utilisation des outils

La typologie des stations correspond à une structuration fondamentale des milieux forestiers. En effet, beaucoup de décisions de gestion (choix des essences, exploitation, protection des milieux sensibles) doivent tenir compte des caractéristiques stationnelles. Cependant, l'état actuel des connaissances, inégal et souvent insuffisant selon les sols et les essences, ne permet de fournir que des recommandations générales ou de bon sens, dans l'esprit des « bonnes pratiques sylvicoles ». C'est le cas notamment de l'économie en eau et de la prévention du stress hydrique dans le cas de sécheresses, où des mesures sylvicoles (choix et mélanges d'essences, densités, végétation accompagnatrice, régimes d'éclaircies, gestion des coupes...) peuvent optimiser l'utilisation des ressources en eau⁷⁾. Dans un contexte de climat changeant, il apparaît donc nécessaire de continuer les études sur les techniques sylvicoles, l'autécologie et l'avenir des essences (réussite aux échecs des plantations, suivi des attaques parasitaires, dégâts de tempête, productivité...) et sur la sensibilité des sols forestiers, en les reliant systématiquement aux référentiels typologiques existants afin d'établir des indications les plus objectives possibles dans les guides des stations forestières. L'implication des réseaux de propriétaires forestiers, de gestionnaires privés et publics et de scientifiques dans la synthèse de ces connaissances est de ce fait indispensable.

La phytoécologie : aperçu méthodologique

La méthode principalement employée pour décrire et classer les stations forestières en France est fondée sur la phytoécologie : il s'agit d'identifier les types de stations, en mettant à profit le caractère indicateur de la végétation quant aux conditions écologiques de ces types.

La phytoécologie pour décrire et classer les stations

Dans la démarche phytoécologique, les stations sont définies sur la base d'un même groupement floristique avec des caractéristiques écologiques déterminées telles que le sol ou la topographie. Cette démarche s'appuie sur la notion de **groupe écologique**.

Le saviez-vous ?

Le principe de la méthode phytoécologique est que : *chaque espèce végétale qui couvre le sol offre des exigences plus ou moins strictes, relativement aux propriétés physiques, chimiques, biologiques du sol (...); si l'on fait abstraction des espèces plastiques, mauvaises indicatrices du milieu, on constate qu'il est possible de grouper, dans une seule station donnée, certaines espèces qu'on trouve généralement ensemble, parce qu'elles ont les mêmes « affinités écologiques » ¹⁾.*

1) Duchaufour, 1960.

Groupe écologique : ensemble d'espèces ayant approximativement les mêmes besoins par rapport à un ou plusieurs facteurs écologiques : énergie lumineuse, richesse minérale, réserve en eau du sol...



Les groupes écologiques

L'iris faux acore, la laîche des marais, le gaillet des marais, la lysimaque commune, le cassis sauvage ont des exigences écologiques similaires : ils sont indicateurs d'une station très engorgée (nappe d'eau à la surface du sol, même en été) où seuls l'aulne glutineux et les saules peuvent former un peuplement forestier. Ces espèces font partie du groupe écologique dit des espèces hygrophiles. Chaque typologie des stations précise les groupes écologiques spécifiques de la région étudiée. En l'absence d'études, on peut se reporter aux groupes écologiques fournis dans les 3 tomes de la Flore forestière française¹⁾.

1) Rameau *et al.*, 1989, 1993 & 2009. Édition IDF.

Gradient hydrique	très sec					
	sec	Stations acides à très acides Présence d'espèces comme : callune, myrtille, fougère aigle, canche flexueuse, laïche à pilule, polytric élégant...		Stations riches en bases Présence d'espèce comme : mercuriale pérenne, lauréole, campanule gantelée, érable champêtre, clématite vigne blanche, cornouiller mâle, fusain d'Europe, troène, brachypode des bois,...		
	"mésophile"					
	frais					
	assez humide					
	humide	Stations très humides (sol engorgé toute l'année) Présence d'espèces comme : aulne glutineux, populage des marais, laïche des marais, épilobe hirsute, gailllet des marais, iris faux acore, lycophe d'Europe, lysimaque commune...				
	inondé en permanence					
		très acide	acide	assez acide	faiblement acide	neutre calcaire
		Gradient de fertilité minérale				

Figure 3. - L'écogramme de la Flore forestière française avec la position simplifiée de quelques espèces indicatrices.

Il faut toujours garder à l'esprit que les milieux forestiers varient de façon continue et progressive, autant en ce qui concerne la flore que les facteurs physiques (climat, topographie, sol...). Les classifications typologiques visent à proposer une liste de « milieux moyens » rendant compte de la diversité des sols d'un secteur et de leur végétation associée. La particularité de la typologie des stations est qu'elle s'appuie à la fois sur des descripteurs physiques (climat, géologie, relief, sol) et des descripteurs floristiques (groupes écologiques) qui en sont le reflet. Les typologies de stations ne peuvent donc être utilisées théoriquement que dans des forêts, où la végétation est en équilibre avec ces variables physiques. Par ailleurs, certaines typologies concernent uniquement certains types de milieux forestiers ; citons, par exemple, le guide pour l'identification des stations et le choix des essences dans les milieux alluviaux, développé par le CRPF Champagne-Ardenne. Dans les milieux « perturbés » comme les coupes et plantations récentes, les friches et jachères, les terrains agricoles... des méthodes alternatives doivent être utilisées pour y déterminer les potentialités forestières.

Un outil synthétique : l'écogramme

En complément des guides et catalogues et dans les régions qui en sont dépourvues, on

peut analyser les caractéristiques des stations en utilisant le caractère indicateur des plantes, à l'aide des écogrammes de la Flore forestière française (figure 3). Ceux-ci situent les espèces herbacées et ligneuses selon les deux facteurs principaux de la variation de la végétation que sont les variations hydriques (alimentation en eau) et nutritives (alimentation minérale), hormis le climat. Connaissant les plantes présentes sur une station, on peut alors déduire ses caractéristiques moyennes, manuellement ou de manière automatisée comme avec l'outil « Ecoflore »⁸⁾. Ce positionnement d'une station dans l'écogramme permet alors, dans un second temps, d'aisément comparer les caractéristiques de cette station

8) Bartoli *et al.*, 2000.



avec les exigences des essences forestières (*un exemple est présenté, page 32*). Cette approche floristique doit toujours être accompagnée d'observations pédologiques (examen de l'humus et sondage à la tarière).

Des méthodes alternatives pour étudier les milieux « perturbés »

Des méthodes alternatives ont été développées lorsque la végétation a été trop perturbée pour servir de base à la définition des types de stations (recru sur anciennes pâtures, jachères et friches, boisement de terrains agricoles...) ou quand la flore varie peu avec les variables écologiques. Un exemple est le guide d'analyse du milieu et de choix des essences établi

sur le Massif central cristallin par le Cemagref : il décrit la variabilité des milieux forestiers sur la base de facteurs uniquement physiques (bioclimat, géologie, structure du paysage) afin de proposer empiriquement des essences adaptées à chacune des combinaisons possibles de ces facteurs.

Dans la typologie des stations actuellement et potentiellement forestières de la Sologne, une autre méthode est utilisée pour étudier les milieux ouverts de morphologie herbacée ou arbustive. Ceux-ci ont fait l'objet de relevés floristiques spécifiques et rattachés aux stations forestières non sur la base des seuls facteurs supposés invariants (géologie, relief), mais par des relations de correspondance prenant la flore et le sol comme critères. L'utilisateur est donc en état de déterminer la station forestière potentielle en observant une prairie, une friche ou une lande, ce qui lui permet de choisir les essences de boisement les mieux adaptées.

L'approche autécologique

L'objectif des études autoécologiques est de fournir des informations sur les préférences écologiques d'une espèce (climat, topographie, sol) souvent réunies dans une fiche descriptive. Pour les forestiers, l'entrée n'est alors plus la station, mais l'essence. Le territoire concerné par la fiche est de ce fait beaucoup plus vaste. En France, plusieurs essences ont fait l'objet de synthèses autoécologiques, notamment les feuillus précieux⁹⁾, l'épicéa commun et le hêtre¹⁰⁾... De nombreuses études de potentialités forestières ont également été réalisées, notamment en région méditerranéenne par le Cemagref pour les principales essences de boisement. La Flore forestière s'inscrit également dans cette approche autécologique en fournissant les besoins de chaque essence : énergie lumineuse, richesse chimique, eau dans le sol. Les études autécologiques sont complémentaires aux typologies des stations. En effet, ces études sont indispensables pour fournir des informations objectives dans les documents typologiques (croissance et vitalité des essences en fonction des facteurs du milieu), afin de mieux structurer les typologies et d'y affiner les préconisations sylvicoles.

Plantation de pins sur un ancien champ en Provence. Vu le pâturage encore régulier, la flore herbacée est très peu exprimée. Le diagnostic stationnel devra se faire sur la base des critères physiques (étude du sol) ou mieux, sur une parcelle voisine dont la flore est moins perturbée et qui présente des conditions écologiques similaires.

- 9) Gonin *et al.*, 2013
10) Seynave *et al.*, 2004 & 2006.

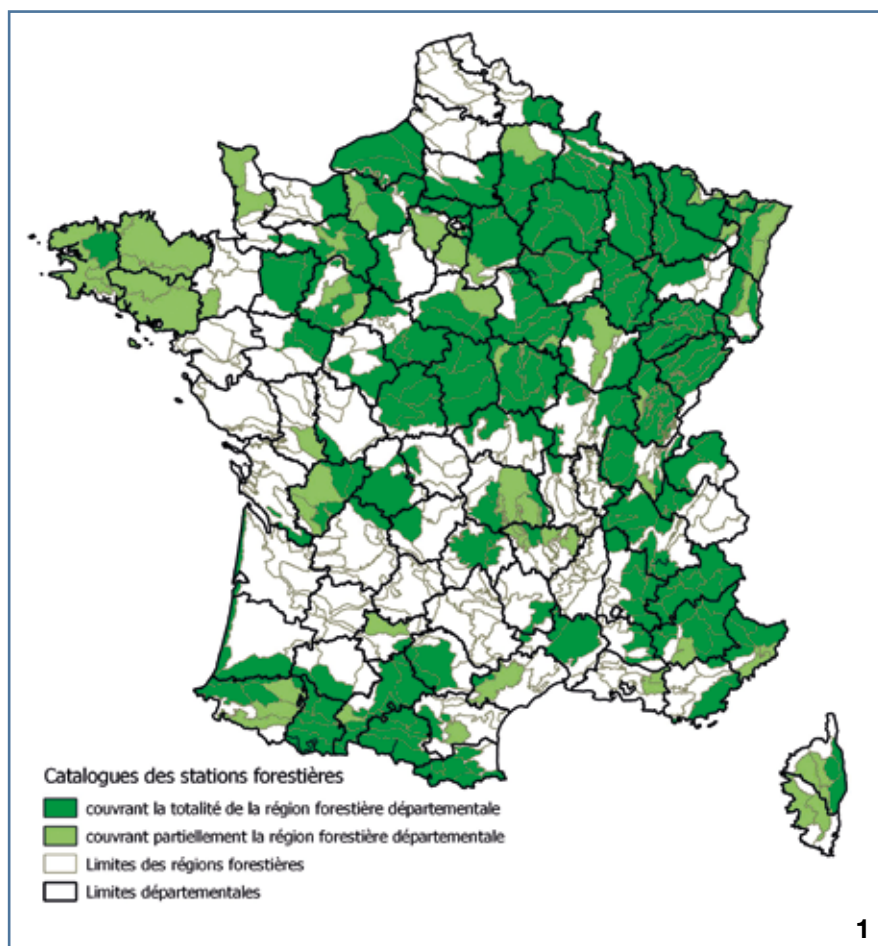
En savoir⁺

Pour plus d'informations sur les méthodes de construction des typologies, et en particulier les guides de choix des essences, le lecteur peut consulter la synthèse sur les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences, réalisée par l'IFN¹⁾.

- 1) Forêt & Dumé, 2006.



Thomas Brusten - IDF © CNPF



Zones couvertes par les catalogues de stations forestières.

(Source : carte actualisée en février 2016, d'après « <http://inventaire-forestier.ign.fr> »)

Couverture en documents typologiques

Les cartes suivantes présentent la couverture actuelle en documents typologiques en France : catalogues et guides simplifiés¹¹⁾. Ces cartes ont été établies sur base de la synthèse effectuée par l'Inventaire forestier national (IFN). Celle-ci a été mise à jour en y incorporant les documents récemment publiés.

Catalogues des stations forestières

La plupart des catalogues des stations ont été publiés entre la fin des années 1970 et le début des années 2000. Si certaines régions sont plutôt bien couvertes en catalogues (Bretagne, Haute-Normandie, Centre, Nord-est, massifs pyrénéens et alpins...), d'autres le sont moins comme le Nord-Pas de Calais et la Somme, les plaines atlantiques des Pays de la Loire, du Poitou-Charentes et de l'Aquitaine...

Véritables monographies régionales, parfois méconnues, les catalogues contiennent pour chaque région forestière une foule d'informations climatiques, géologiques, pédologiques et floristiques.

Cette carte 1 ne tient pas compte des documents, décrivant les milieux forestiers sur base uniquement de facteurs physiques (géologie, relief, sol) et non floristiques. Citons par exemple le guide d'analyse du milieu du Massif central cristallin ou encore le guide technique du forestier méditerranéen, dont une partie présente la variation des milieux pour chaque région forestière en fonction du climat, de la géologie et du relief. Ces documents ne sont pas des typologies des stations, mais peuvent également aider les forestiers dans leurs diagnostics de gestion.

Les guides simplifiés des stations forestières

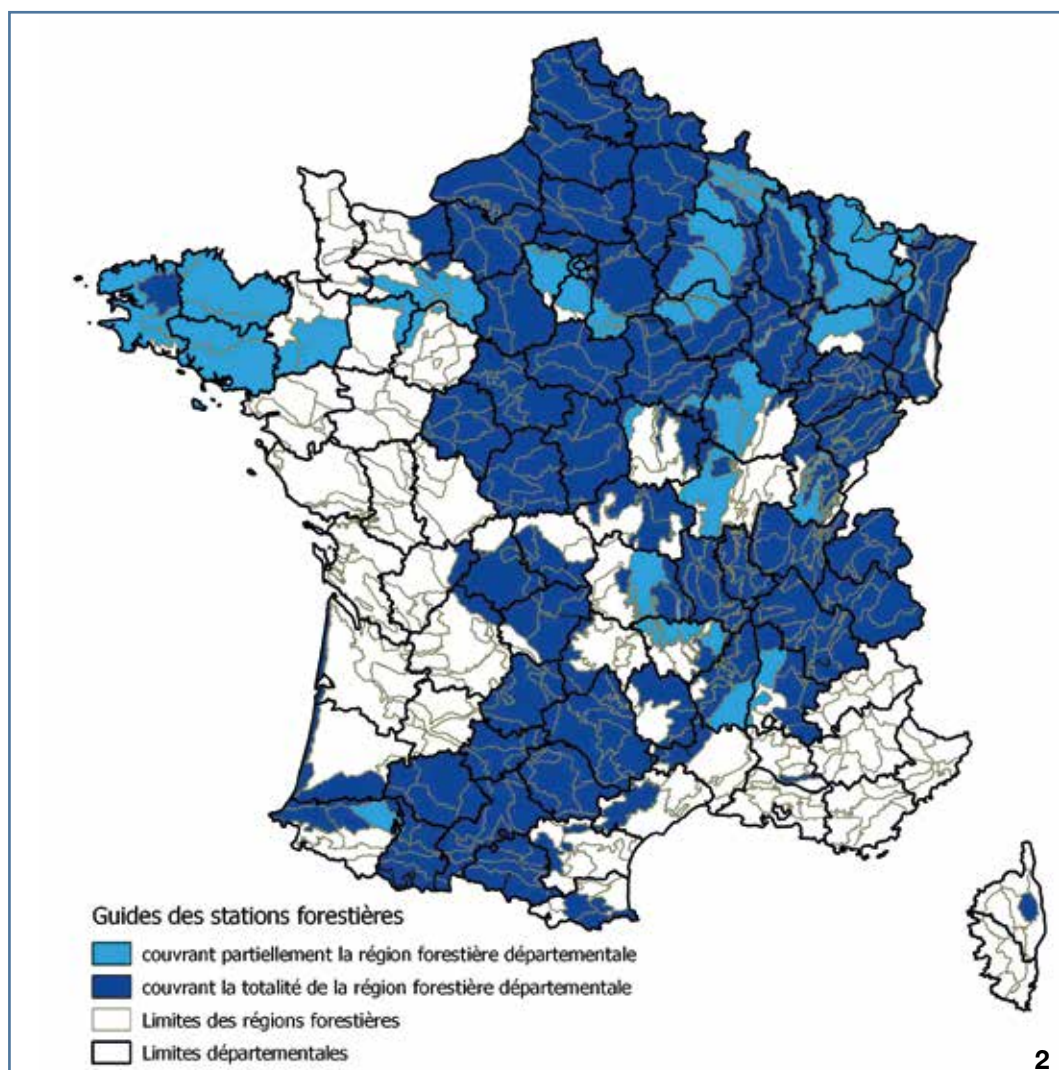
Outils véritablement opérationnels pour le gestionnaire forestier, les guides simplifiés sont développés depuis les années 1990. Plusieurs guides ont encore été publiés récemment notamment en Franche-Comté, Nord-Pas de Calais et Picardie, Languedoc-Roussillon, Bretagne, Champagne-Ardenne, Rhône-Alpes... La plupart sont développés en simplifiant des catalogues existants. D'autres, comme en Nord-Pas de Calais et Picardie, sont élaborés sans catalogues initiaux. Pour cela, les données écologiques de l'IFN sont valorisées afin de définir les grands ensembles stationnels. Les typologies ont été validées et affinées ensuite par des campagnes de relevés sur le terrain dans les forêts privées et publiques. L'édition d'un guide est prévue pour 2016 : il concernera une grande partie des plaines du Nord-Est, allant d'est en ouest, du Plateau lorrain à la Dépression centrale ardennaise. Les guides sur les milieux forestiers, ayant pour vocation d'initier le grand public à la reconnaissance des habitats et de la biodiversité forestière, n'apparaissent pas sur cette carte 2. Ils couvrent toutefois de grandes régions comme la Bretagne, l'Aquitaine, la Franche-Comté, les Alpes du Sud... Ces guides recommandent des mesures de gestion durable adaptées aux menaces pesant sur les milieux forestiers et associés (mares et étangs, landes, tourbières...). ■

11) Les différences entre catalogue et guide simplifié sont présentées dans le tableau 1, page 19.

À retenir

- La typologie des stations consiste à mettre en évidence la variabilité écologique des forêts afin d'y optimiser la gestion, en particulier le choix des essences.
- La méthode est fondée sur la phytoécologie, c'est-à-dire la description des conditions du milieu à travers le caractère indicateur de la flore.
- Les principaux documents (guides et catalogues), ainsi que la plupart des études régionales ou nationales de relations entre les stations et la production des essences sont disponibles en libre téléchargement sur le **site de l'inventaire forestier de l'IGN** (<http://inventaire-forestier.ign.fr>).

Il est également possible de contacter le **CRPF de sa région** qui, soit met souvent en ligne les plus récents (<http://www.cnpf.fr>) ou soit diffuse des guides et catalogues en version papier.



Zones couvertes par des guides simplifiés des stations forestières.

(Source : carte actualisée en février 2016, d'après « <http://inventaire-forestier.ign.fr> »)

FORMATIONS

- Flore des forêts méditerranéennes - Hyères (83) - 17-20 mai
- Connaître les mousses et les fougères de plaine - Indre-et-Loire - 24-26 mai
- Les zones humides en forêt - Amiens (80) - 01-02 juin
- Mieux connaître l'autécologie des essences - Ardèche - 11-13 octobre

Renseignements et inscription : **www.foretpriveefrancaise.com** en rubrique Services et formation - Tél : 02.38.71.91.14

Décrire les stations forestières pour veiller à satisfaire les besoins des arbres

Par Thomas Brusten et Pierre Gonin, CNPF-IDF

Les besoins des arbres pour se développer et se régénérer (lumière, chaleur, alimentation en eau et en minéraux, stabilité mécanique), sont plus ou moins satisfaits selon les caractéristiques des stations. Pour connaître les essences adaptées à une station, il faut caractériser chacun des facteurs qui la composent tout en y observant la végétation indicatrice reflétant ces conditions.

En pratique



S. Gaudin - CRPF CA © CNPF

Avant de partir en forêt, vérifiez que vous possédez le matériel adéquat :

- une **carte topographique** au 1/25 000^e pour vous situer, avec éventuellement un GPS de terrain ;
- la **typologie des stations** (catalogue ou guide simplifié), si elle existe pour la région forestière ;
- une **flore forestière**¹⁾ pour identifier les principales espèces et connaître leur caractère indicateur ;
- un **couteau** ou une **truelle** pour observer la forme d'humus ;
- une **bêche** ou une **pioche** (si possible une tarière pédologique) pour caractériser le sol ;
- un **flacon d'acide chlorhydrique** (1 volume d'acide du commerce dilué dans 2 volumes d'eau) pour déterminer la présence de calcaire et éventuellement un pHmètre-colorimètre pour estimer le pH ;
- un **carnet de terrain** pour noter vos observations.

1) Rameau *et al.*, 1989, 1993 & 2009.

Quelle zone observer ?

La station étant une zone homogène au point de vue des facteurs écologiques et floristiques, il s'agit de décrire dans la forêt des surfaces ayant des caractéristiques physiques invariantes (topographie, géologie...) avec une végétation homogène (figure 1).

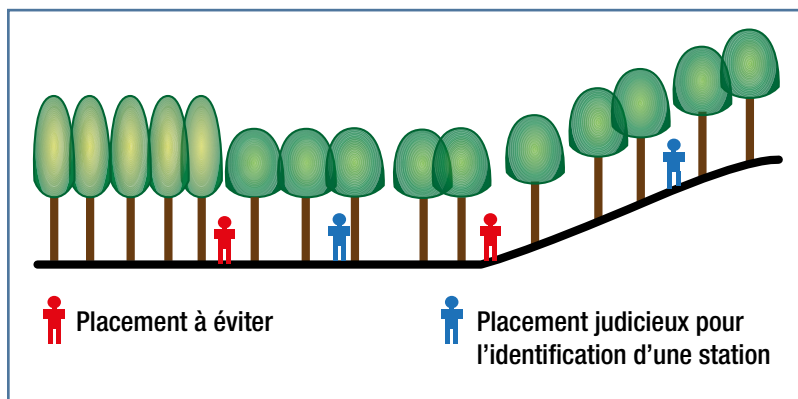


Figure 1 - Se placer judicieusement

(source : CRPF Nord-Picardie)

Placez-vous dans une zone homogène et représentative de la station, sur environ 400 m², en vous éloignant des lisières, des clairières et des chemins (20 m minimum). De même, évitez les peuplements très ouverts (coupe rase, plantation récente) ou au contraire très fermés (plantation résineuse non éclaircie) car l'excès ou l'absence de lumière influence fortement la végétation spontanée.

Étape 1 - Observer la végétation spontanée

Le relevé floristique a lieu de préférence en période de végétation, idéalement entre avril et septembre, afin d'observer un maximum d'espèces. Notez, strate par strate (arborée, arbustive, herbacée), les espèces que vous observez et leur caractère indicateur (richesse chimique, alimentation en eau, climat). Pour cela, on peut utiliser la flore forestière ou mieux, les groupes indicateurs fournis dans la typologie locale des stations.

Le saviez-vous ?

- **Le peuplement** dépend de l'historique de gestion et ne reflète pas toujours les caractéristiques de la station.
- **La flore herbacée et ligneuse** est considérée comme intégratrice des conditions de station. C'est surtout vrai quand le milieu n'a pas subi de perturbation majeure du fait de l'activité humaine.
- **Le dynamisme de la végétation** apporte aussi son lot d'informations (régénération naturelle, croissance des arbres). Son observation demande de l'expérience, mais est riche d'enseignement, notamment pour identifier la végétation concurrente.

Étape 2 - Déterminer les conditions climatiques de la station étudiée

Le climat désigne la combinaison des états de l'atmosphère (rayonnement solaire, température, précipitations, humidité atmosphérique...) en un lieu donné sur une période donnée. Les paramètres climatiques sont à analyser au regard des besoins des arbres (*tableau 1*), le **bioclimat** représentant l'ensemble des facteurs climatiques influençant directement la végétation. En effet, chaque espèce, pour assurer ses fonctions vitales, a besoin d'une gamme précise de conditions climatiques.

En fonction des caractéristiques climatiques (surtout T), la végétation se structure en étages de végétation, chacun étant caractérisé naturellement par un cortège d'essences particulier (*tableau 2*). Ce cortège est plus ou

Tableau 1 - Les besoins des arbres liés au climat

Besoins des arbres	Principaux facteurs et paramètres climatiques à analyser
Lumière et chaleur	Ensoleillement, température, gelées
Alimentation en eau	Précipitations (P), température (T) et évapotranspiration potentielle (ETP). Ces variables sont souvent combinées pour calculer des indices climatiques de déficit hydrique (P-ETP...) caractérisant le niveau de sécheresse du climat
Alimentation minérale	Précipitations et température qui influencent l'activité biologique, l'entraînement en profondeur des minéraux...
Stabilité mécanique	Vents violents, neige...

moins modifié par des perturbations naturelles (tempêtes, incendies...) et par l'action de l'homme (agriculture, sylviculture...).

Tableau 2 - Principales caractéristiques des domaines biogéographiques français

Étages de végétation		Végétation forestière caractéristique
Méditerranéen : climat chaud, avec saison sèche en été	Thermo-méditerranéen : T minimale moyenne du mois le plus froid > 3 °C	Fourrés bas avec olivier sauvage, caroubier, euphorbe en arbre, lentisque... Peu présent en France (bande littorale discontinue)
	Méso-méditerranéen : T minimale moyenne du mois le plus froid comprise entre 0 et 3 °C	Chêne vert et chêne-liège, chêne pubescent (sur sol profond), frêne oxyphylle, pin d'Alep, pin pignon, pin maritime...
Plaines et collines avec variantes méditerranéenne (ou supraméditerranéenne), atlantique et continentale : T moyenne annuelle > 8 °C, absence de saison sèche		Hêtre*, chênes caducifoliés et autres feuillus indigènes (châtaignier, érables, tilleuls, frêne commun...)
Hautes montagnes	Montagnard : T moyenne annuelle de 4 à 8 °C et période de végétation > 200 jours	Hêtre, sapin pectiné, pin sylvestre, épicéa commun (dans les Alpes), pin laricio (en Corse)...
	Subalpin : T moyenne annuelle de - 2 à 4 °C et période de végétation entre 100 et 200 jours	Pin à crochets, sapin pectiné, épicéa commun et mélèze d'Europe (dans les Alpes)...
	Alpin et nival : T moyenne annuelle < 0 °C et période de végétation < 100 jours	Absence de végétation forestière (pelouses et rochers)

* Le hêtre est absent quand le climat est déficitaire en pluviosité (P < 650-700 mm/an) ou trop doux (T moyenne annuelle > 12 °C).

Le saviez-vous ?

Les étages de végétation sont bien visibles dans les zones méditerranéennes et montagnardes (figure 2). Ils dépendent de l'altitude (liée à ce gradient de température) mais aussi de paramètres influençant localement le climat, en particulier l'exposition, la pente et les vents dominants.

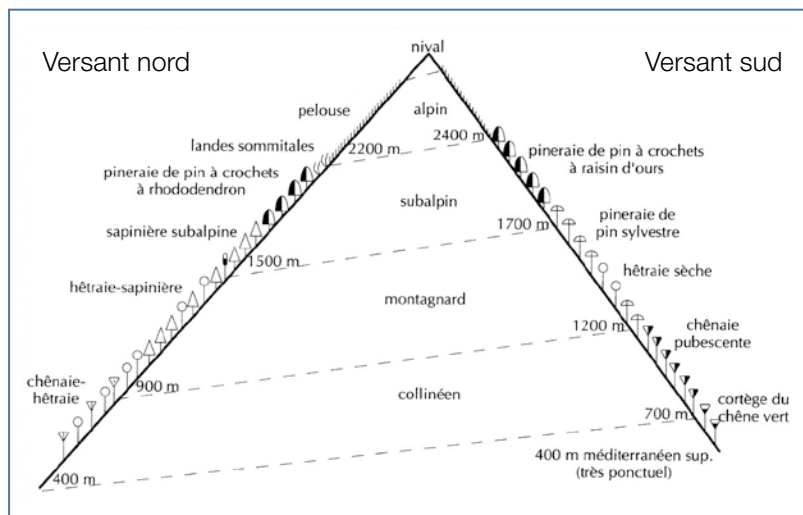


Figure 2 - Les étages de végétation dans les Pyrénées centrales.

(Source : Rameau et al., 1993)

En contexte de changement climatique, les forestiers doivent anticiper les variations des bioclimats dans leur réflexion de gestion. En effet, plusieurs études récentes ont montré un risque de dépérissement pour quelques essences de production (douglas, chêne pédonculé, châtaignier, hêtre...) lié à la récurrence d'épisodes secs dans certains secteurs climatiques¹⁾. L'aire potentielle de distribution des essences se modifie progressivement²⁾. Nous reviendrons plus tard³⁾ sur la nécessaire intégration du changement climatique dans les guides de choix des essences.

L'essentiel

- **Connaître les conditions climatiques de la station.** Au minimum : pluviosité annuelle, température moyenne annuelle, déficit d'évapotranspiration (P-ETP), mais aussi répartition des précipitations, gelées, risques liés au vent. Pour cela, consulter les bases de données climatiques¹⁾.
- **Dans les zones méditerranéenne et montagnarde, se situer parmi les étages de végétation,** grâce à la flore indicatrice (ligneuse et herbacée) ainsi qu'aux données climatiques (surtout T) et écologiques (altitude, topographie et exposition). Les catalogues de station fournissent généralement une analyse bioclimatique détaillée de la région étudiée.

Étape 3 - Situer la station dans le relief

Le relief modifie le climat régional : on parle de **topoclimat**. Le climat est plus frais dans les stations confinées (versant encaissé, fond de vallon) et sur les versants exposés au nord ou, au contraire, plus chaud sur les versants sud bénéficiant d'un ensoleillement journalier plus long. Dans les vallées encaissées, le risque de gelées précoces ou tardives est aussi plus élevé car le froid a tendance à y stagner. Les variations topographiques peuvent donc localement aggraver, ou au contraire compenser, la capacité d'une essence à se développer (croissance, vitalité) dans un environnement climatique global qui lui est plus ou moins favorable.

Topoclimat : effet de la pente et de l'exposition sur les paramètres climatiques.

Le relief amplifie aussi les contraintes d'assèchement estival du sol (haut de versant, butte, pente forte) ou au contraire d'engorgement dû à un mauvais écoulement de l'eau (fond de vallon humide, dépression, zones de source...). On peut caractériser cette situation à l'aide d'un indice topographique (figure 3).

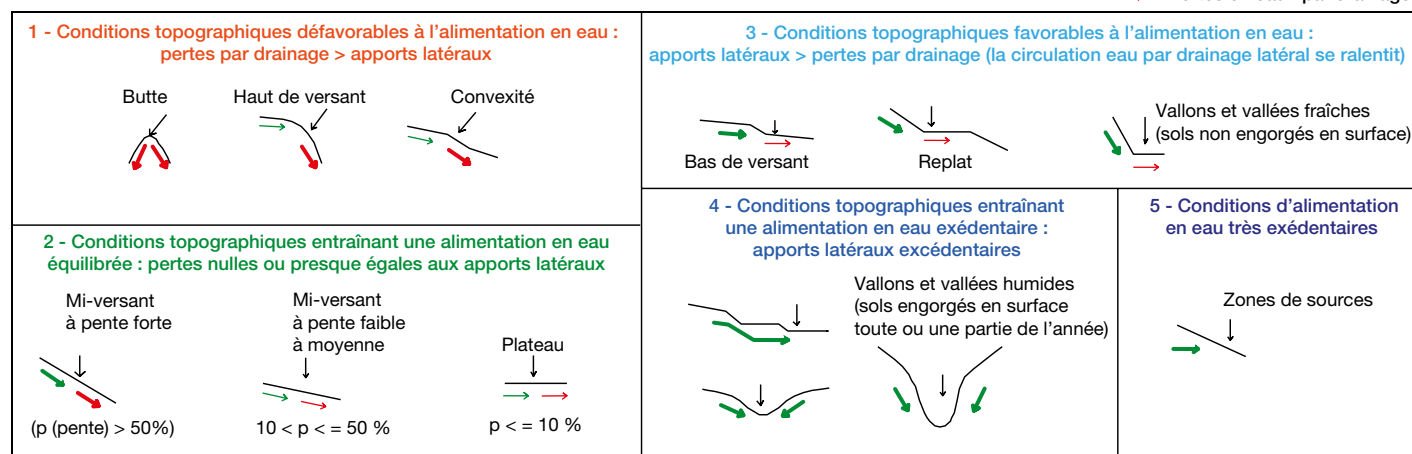
La position dans le relief influence aussi l'alimentation minérale des arbres : le colluvionnement des matériaux du sol vers le bas des versants et le dépôt d'alluvions dans les vallées fournissent généralement des sols riches et profonds. La stabilité mécanique des arbres est également en lien avec le relief : les parcelles exposées aux vents dominants seront toujours plus sensibles au risque de chablis.

- **Déterminer la position topographique** de la station en mesurant certains paramètres (pente, exposition, confinement, position et indice topographique) ;
- Comprendre l'influence de cette position topographique sur les caractéristiques de la station, en particulier sur le **climat local (topoclimat)** et sur l'**alimentation en eau** du sol.

1) Des données spatialisées au service de la description du milieu p. 34.

Figure 3 - L'alimentation en eau des stations dépend de la position topographique. L'épaisseur des flèches est proportionnelle à l'importance des transferts. (Source : Rosa et al., 2011 modifié)

→ Apports latéraux en eau
→ Pertes en eaux par drainage



Étape 4 - Analyser les atouts et les contraintes du sol

Le sol est un élément essentiel pour juger de la fertilité forestière. Il est constitué d'une succession d'horizons observables sur une fosse pédologique, implantée dans une zone homogène et représentative de la station. À défaut, on décrira le sol à l'aide de sondages à la tarière pédologique, complétés par des mini-fosses à la bêche sur 50 cm de profondeur. **La description d'un sol est une étape complexe, faisant l'objet de plusieurs manuels de référence, dont nous citons ci-dessous uniquement les facteurs clés à évaluer. Pour plus de précision, on se reportera à des articles et ouvrages spécialisés⁴⁾.** La stabilité et l'alimentation hydrique et minérale d'un arbre dépendent des caractéristiques de son système racinaire (propre à chaque essence) et de sa capacité à le développer dans le sol. Il s'agit donc tout d'abord d'évaluer si des horizons sont susceptibles de bloquer le développement des racines.

Si l'eau est nécessaire, son excès peut affecter la croissance des arbres, leurs racines ne trouvant plus l'oxygène nécessaire à leur fonctionnement. Cet excès d'eau a d'autant plus d'impact qu'il dure longtemps et est proche de la surface. **L'hydromorphie** représente l'ensemble des caractères morphologiques d'un horizon ou d'un sol engorgé par l'eau de façon permanente (gley) ou temporaire (pseudogley); L'engorgement temporaire d'un sol se traduit par des taches rouille (fer oxydé) entourées de taches grisâtres (décoloration du matériau due à un départ de fer). On parle de **pseudogley** (photo 1). Un sol engorgé en permanence est marqué par la présence d'un horizon de couleur gris bleuâtre ou verdâtre (fer réduit). On parle de **gley** (photo 2).

Par ailleurs, il faut vérifier la présence éventuelle d'un **horizon imperméable pour les racines** : horizon tassé ou à texture très argileuse, roche dure non fractionnée...

L'estimation de la réserve utile maximale (RUM) permet de déterminer la quantité d'eau maximale utilisable par les plantes contenue dans les horizons du sol exploitables par les racines. Son estimation dépend de l'épaisseur du sol, de sa capacité à stocker l'eau (selon la texture : argile, limon, sable) et de la charge en éléments grossiers. Bien que son estimation soit délicate, c'est un précieux indicateur de la disponibilité en eau des sols et donc du potentiel de croissance des peuplements.



1 S. Gaudin - CRPF CA © CNPF



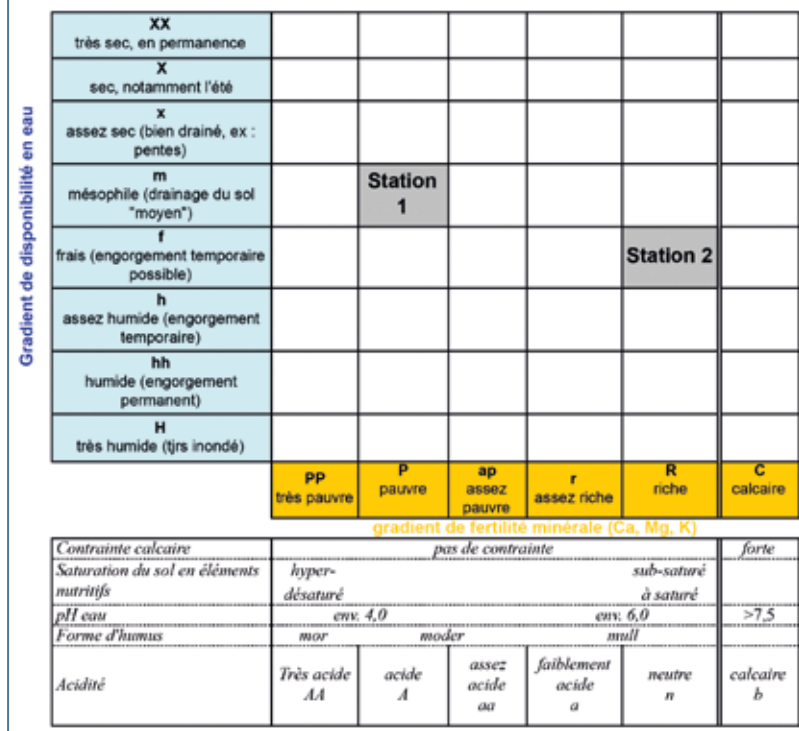
2 S. Gaudin - CRPF CA © CNPF

4) Dossier spécial Forêt-entreprise n°171 ; Guide de l'expérimentation (Rosa et al., 2011) ; Guide pour la description des sols (Baize et Jabiol, 2011) ; etc.

Ensuite, on estimera les **niveaux hydrique et trophique du sol**, que l'on peut représenter synthétiquement à l'aide d'un écogramme (figure 4).

Figure 4 - Position de deux stations bien différentes sur l'écogramme !

(D'après Gonin et al., 2013)



Prenons l'exemple d'un gestionnaire soucieux d'enrichir deux parcelles forestières de plaine et qui en étudie les caractéristiques stationnelles :

- **La station 1**, située sur un plateau est caractérisée par un sol limoneux et bien drainé (pas de traces d'engorgement). L'humus est épais. Les plantes observées comme la fougère aigle, la callune et la myrtille sont indicatrices d'un sol plutôt pauvre en éléments nutritifs.

- **La station 2** est située sur un versant à pente faible et présente un sol limono-argileux, plus frais et riche. Le sol est parfois légèrement engorgé durant l'hiver. Il y a observé de toutes autres espèces comme le cornouiller sanguin, la mercuriale pérenne, le fusain d'Europe et l'aubépine monogyne.

Écogramme : représentation graphique des caractéristiques d'une station ou de l'exigence d'une essence vis-à-vis des deux principaux facteurs qui influent sur la croissance des végétaux : les niveaux hydrique et trophique (fertilité minérale).

Niveau hydrique : niveau global de satisfaction des besoins en eau des plantes présentes dans une station forestière donnée.

Ces deux stations se distinguent nettement sur l'écogramme. Il met en évidence leurs **niveaux hydriques et trophiques respectifs**, utiles pour réfléchir aux choix des essences.

Étape 5 - Synthétiser les observations

Cas 1. Une typologie des stations est disponible pour la forêt étudiée

Identifier le type de station ou l'unité stationnelle (US) à l'aide de la **clé d'identification** fournie avec la typologie, puis vérifier le diagnostic dans la fiche correspondante. Consulter les **préconisations de gestion** et les essences conseillées dans la fiche.

Cas 2. Pas de catalogue, ni de guide disponibles pour la forêt étudiée

Comparer les caractéristiques de la station (climat, sol, relief...) avec les exigences des essences décrites dans les flores forestières ou dans les synthèses autécologiques. On peut synthétiser les données relevées sur le terrain en **positionnant la station dans l'écogramme**. Ce positionnement doit alors être **comparé avec l'aire écologique des essences** (figure 5) pour identifier celles qui sont appropriées ou au contraire à éviter. Cette comparaison sera complétée par l'analyse des contraintes (développement des racines, conditions climatiques...).

La station 1, étudiée précédemment, n'est pas favorable à l'érable sycomore. D'autres essences devront être envisagées pour enrichir la parcelle. Pourquoi pas le châtaignier, le chêne sessile, le chêne rouge ou encore l'alisier torminal ?

La station 2 est particulièrement favorable à l'érable sycomore, son implantation pourra y être étudiée plus en détail (mélange avec d'autres essences, densité de plantation...). ■

Niveau trophique : niveau global de nutrition minérale permis par un sol donné. Un sol ayant un niveau trophique élevé sera saturé en éléments nutritifs (donc riche en calcium, magnésium, potassium), avec une bonne nutrition en azote (grâce à une bonne minéralisation des litières), mais aussi en phosphore.

Le saviez-vous ?

- **Le positionnement de la station dans l'écogramme doit s'appuyer sur la flore** (à travers les groupes écologiques indicateurs) **et plusieurs paramètres du sol**, en particulier pour le niveau trophique :
- **la forme d'humus**. Il s'agit de l'entité formée par la succession verticale des horizons O (organique) puis A (organo-minéral) résultant d'un type donné d'activité biologique¹. Les trois principales formes d'humus sont les mulls (indiquant les sols les plus riches en éléments minéraux, où l'activité biologique est forte), les moders (caractéristiques des sols désaturés, à pH acide, défavorables à l'activité de certains vers de terre) et les mors (inféodés aux sols hyper-acides avec une quasi-absence d'activité biologique) ;
- **les caractéristiques chimiques du sol** : on mesure souvent l'acidité du sol (estimation très grossière sur le terrain à l'aide d'un pHmètre-colorimètre) du fait de la correspondance entre pH et richesse minérale, mais la corrélation n'est pas très forte entre les pH 4,5 et 6, d'où l'intérêt de recourir à des analyses physicochimiques en laboratoire qui permettent d'estimer les paramètres nutritifs ou toxiques pour les essences. Ces analyses sont utiles dans certaines conditions : dépérissement non expliqué, sol appauvri ou pollué, cultures ligneuses intensives... Leur interprétation peut s'effectuer aisément avec le logiciel Adishatz². En contexte géologique calcaire, le test d'effervescence (verser quelques gouttes d'HCl dilué) vise à évaluer si les horizons contiennent du calcaire (saturation en carbonate de calcium engendrant des carences de certains éléments chimiques). Plusieurs essences comme le douglas, le chêne rouge ou le châtaignier ne supportent pas la présence de tels horizons à faible profondeur.

1) Jabiol *et al.*, 2007.

2) Delarue & Larrieu, 1999.

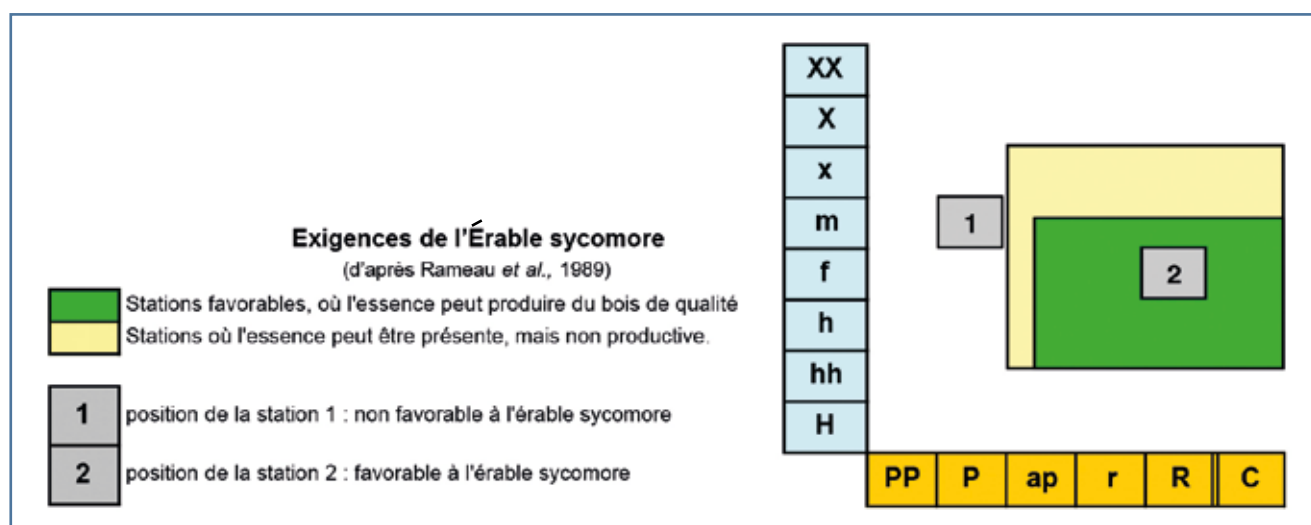


Figure 5 - Exemples d'utilisation de l'écogramme pour comparer deux stations avec l'exigence de l'érable sycomore.

À retenir

- La satisfaction des besoins des arbres (lumière, chaleur, alimentation en eau et en minéraux, stabilité mécanique) dépend des caractéristiques de la station forestière.
- Pour s'assurer de la satisfaction de ces besoins, une description détaillée des caractéristiques de la station (climat, relief, sol) est nécessaire. Pour cela, il faut aussi s'appuyer sur l'observation de la végétation indicatrice.
- L'écogramme permet de représenter synthétiquement les caractéristiques hydrique et minérale d'une station afin de les comparer avec les exigences écologiques des essences forestières. Son utilisation est particulièrement utile quand le forestier ne dispose pas d'un catalogue ou d'un guide simplifié des stations.

Des données spatialisées au service de la description du milieu

Par Thomas Brusten, CNPF-IDF et Christian Piedallu Inra-Lerfob

Avec l'évolution informatique récente, les forestiers disposent de diverses bases de données phytoécologiques, associées à des données topographiques, pédologiques ou climatiques. Quels sont les différentes données disponibles et leur usage en lien avec la description des milieux forestiers ?

Les données spatialisées sont de plus en plus utilisées pour la description des milieux forestiers. Elles concernent à la fois des relevés de terrain géoréférencés réalisés sur des placettes et des couches numériques représentant les variations spatiales des principaux facteurs écologiques, disponibles sous systèmes d'informations géographiques (SIG). La plupart d'entre elles couvrent de vastes territoires, le plus souvent l'ensemble de la France. Elles sont disponibles à des résolutions spatiales variables, allant de la placette jusqu'à des cellules dont la taille varie entre quelques mètres et plusieurs kilomètres de côté. Les principales données mobilisables sont décrites, avec quelques exemples d'applications en lien avec la typologie des stations forestières.

Les bases de données phytoécologiques et phytosociologiques

Un relevé phytoécologique fournit à l'échelle de la placette (quelques dizaines à quelques centaines de m²) la liste des espèces végétales présentes ainsi que les caractéristiques

physiques du lieu (forme d'humus, description du sol, topographie...). Deux grandes bases de données phytoécologiques existent en France :

- **la base écologique de l'inventaire forestier de l'IGN**. Sur chaque point d'inventaire, les équipes de l'IGN réalisent un relevé floristique et écologique en complément des données dendrométriques et de l'inventaire des arbres morts¹⁾. Plus d'une trentaine de variables décrivent ainsi la placette et la fosse pédologique qui y est réalisée. Grâce à l'échantillonnage systématique mis en place en 2005, cette base constitue un observatoire écologique des écosystèmes forestiers, enrichie chaque année d'environ 6 000 relevés. Ces données brutes sont accessibles sur le site de l'IGN²⁾.

- **EcoPlant**, créée par AgroParisTech-Nancy, contient plus de 8 000 relevés réalisés dans le cadre de typologies de stations, de rapports, de thèses ou issus de réseaux de placettes³⁾. Environ 200 variables permettent de décrire la flore, et pour une majorité des relevés, une fosse pédologique et des analyses de sol réalisées en laboratoire. Ces données sont accessibles sur demande en fonction des restrictions d'usage liées à chaque étude. Certaines informations sont également mises à disposition via le portail SILVAE⁴⁾.

1) Drapier & Cluzeau, 2001.

2) <http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?rubrique159>

3) Gégout *et al.*, 2005.

4) <http://silvae.agroparistech.fr/home/>
Piedallu *et al.*, 2014.

Le saviez-vous ?

En reliant la présence des espèces aux données pédologiques, la base *EcoPlant* a permis d'établir le caractère indicateur de nombreuses plantes de la flore forestière vis-à-vis de certaines propriétés du sol : le pH, le taux de saturation en bases, le rapport C/N, l'engorgement temporaire ou permanent¹⁾. La valeur indicatrice d'une espèce pour une propriété donnée est définie comme la valeur de la propriété pour laquelle la probabilité de présence de l'espèce est maximale. À partir d'un simple relevé floristique, même incomplet, il est ainsi possible de prédire les propriétés physico-chimiques du sol, avec une marge d'incertitude associée, par combinaison des valeurs indicatrices des espèces présentes sur un même relevé. On parle de **bio-indication**. Cette technique permet également d'affiner les groupes d'espèces indicatrices utilisées dans les typologies de stations²⁾.

1) Gégout *et al.*, 2003.

2) Gaudin, 2012.

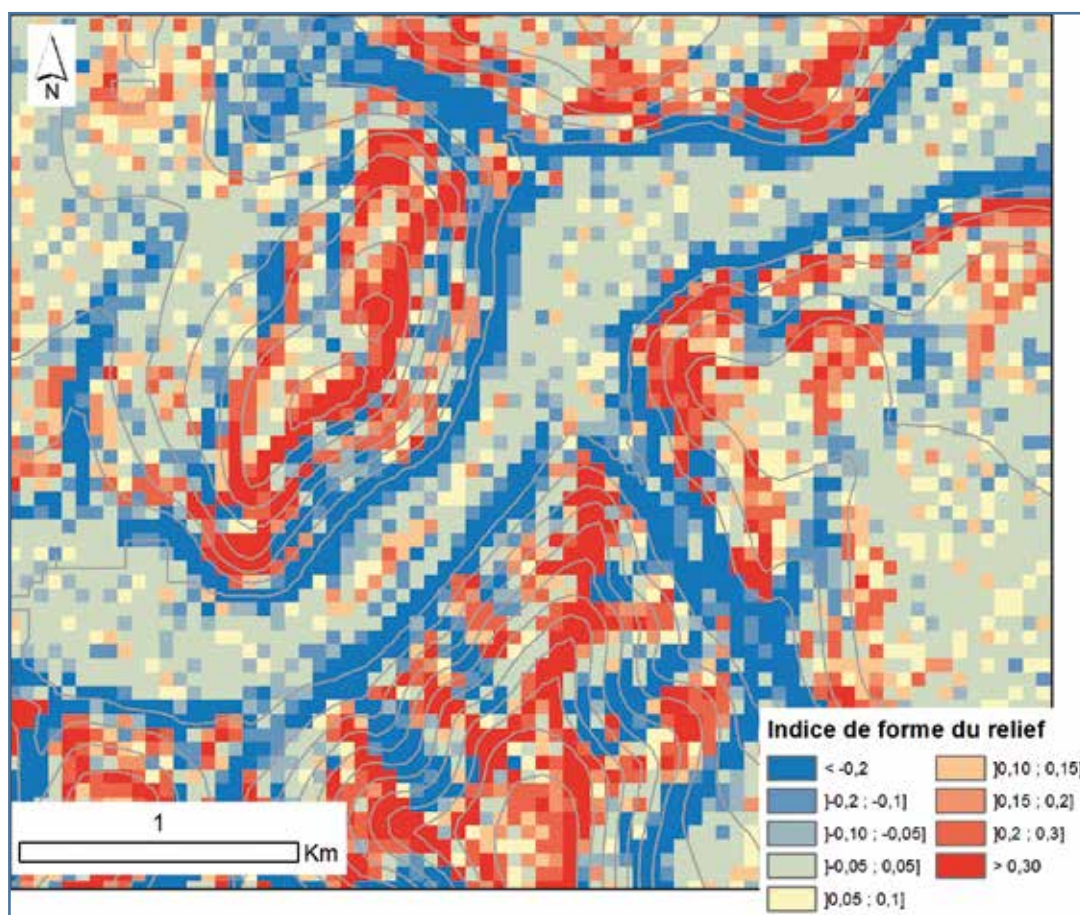


Figure 1 - Indice de forme de relief (positif en rouge = convexe, négatif en bleu = concave) dans la vallée de la Bruche (massif des Vosges). Les zones concaves sont souvent plus riches chimiquement et mieux alimentées en eau que les zones convexes.

Les bases de données phytoécologiques sont largement utilisées pour étudier le lien entre les espèces et leur environnement, pour réaliser des cartes de facteurs écologiques ou pour prédire la distribution ou la croissance des essences en intégrant les propriétés des sols⁵⁾. D'autres bases de données se focalisant uniquement sur la description de la végétation, qualifiées de phytosociologiques, peuvent également être mobilisées. Citons par exemple la base Sophy, qui contient plus de 200 000 inventaires floristiques⁶⁾, ou encore les données des conservatoires botaniques nationaux⁷⁾. Elles peuvent être utilisées en complément des bases phytoécologiques pour la bio-indication, ou pour caractériser ou cartographier les habitats forestiers.

Les cartes numériques disponibles sous SIG

Un nombre croissant de couches d'informations disponibles sous SIG sont mises à disposition des utilisateurs par différents organismes. Nous allons essayer de décrire brièvement les principales d'entre elles.

Les données topographiques

De nombreux facteurs écologiques varient selon la topographie, comme le rayonnement solaire, la température, la disponibilité en eau, le vent, les caractères du sol... Outre l'extraction de valeurs d'altitude, les modèles numériques de terrain (MNT) permettent de calculer de nombreuses variables dérivées : pente, exposition, forme de relief, position topographique... (figure 1). Ces données sont utiles pour réaliser des découpages stationnels à l'échelle locale, car elles sont corrélées aux variations des climats et des sols.

Les données liées au sol

Le sol est une composante essentielle de la station forestière, car il conditionne la capacité des essences à s'enraciner et s'alimenter selon leurs besoins. Le **groupement d'intérêt scientifique Sol**⁸⁾, coordonné par l'Inra d'Orléans, a pour objectif de constituer et de gérer des bases de données : fosses pédologiques et sondages à la tarière parfois accompagnés d'analyses physico-chimiques, cartes des sols. Les sondages ponctuels sont regroupés dans la base DONESOL⁹⁾.

MNT : Modèle numérique (de Terrain) représentant l'altitude. Différents MNT, de résolution et de qualité variables, existent :
 - BD ALTI® de l'IGN (taille de cellule variant entre 1 m et 1000 m, www.ign.fr),
 - SRTM (90m, <http://srtm.usgs.gov/>)
 - ou ASTER (30 m, <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>).

5) Gégout *et al.*, 2008

6) <http://sophy.tela-botanica.org/sophy.htm>

7) www.fcbrn.fr

8) GIS sol, www.gissol.fr

9) Jamagne *et al.*, 1995

Tableau 1 - Les cartes des sols disponibles en France

Référentiels cartographiques	Couverture métropolitaine	Échelle d'utilisation	Niveau d'utilisation
Base de données géographiques des sols de France (BDGSF)	Couverture nationale	1 : 1 000 000	National, non opérationnel à une échelle locale
Référentiel régional pédologique (RRP)	Couverture nationale informatisée, en voie de réalisation.	1 : 250 000	Régional ou départemental
Cartes à moyennes échelles	50 à 60 % du territoire national couvert, mais pas toujours informatisé	1 : 25 000 à 1 : 100 000	Niveau local (utilisable à l'échelle du massif forestier)

Les cartes (couches SIG) sont disponibles à des échelles allant du 1 : 1 000 000 au 1 : 25 000 (*tableau 1*).

La priorité actuelle est l'achèvement de la couverture nationale au 1 : 250 000 à travers le programme de Référentiel régional pédologique (RRP). La cartographie des sols à moyenne échelle (1 : 100 000 à 1 : 25 000), opérationnelle au niveau local, couvre actuellement 50 à 60 % du territoire national¹⁰⁾, dont une partie seulement est informatisée. De nouvelles cartes sont publiées chaque année, mais les régions de montagne (Alpes, Pyrénées, Massif central) sont toujours très peu décrites.

À défaut de carte des sols, **les cartes géologiques peuvent être utilisées**. Elles ont été informatisées et harmonisées pour chaque département par le Bureau de recherches géologiques et minières¹¹⁾. Les caractéristiques d'un sol étant conditionnées par la géologie (type de roche, calcaire ou siliceuse, formations superficielles...), elles apportent une information pertinente sur la variabilité des stations. Remarquons toutefois que ces cartes, établies à des échelles allant jusqu'au 1:50 000, ne sont pas toujours précises localement. Par exemple, elles ne prennent pas toujours en compte les formations superficielles (les limons éoliens par exemple) qui peuvent fortement influencer les gradients trophiques et hydriques.

10) Richer de Forges *et al.*, 2014.

11) <http://infoterre.brgm.fr/>

Figure 2 - Extrait, dans la vallée de la Bruche (Vosges) de la carte prédictive du pH des sols réalisée par bio-indication à partir de relevés floristiques de l'IGN, dans le Nord-est de la France
(Piedallu *et al.*, 2010).

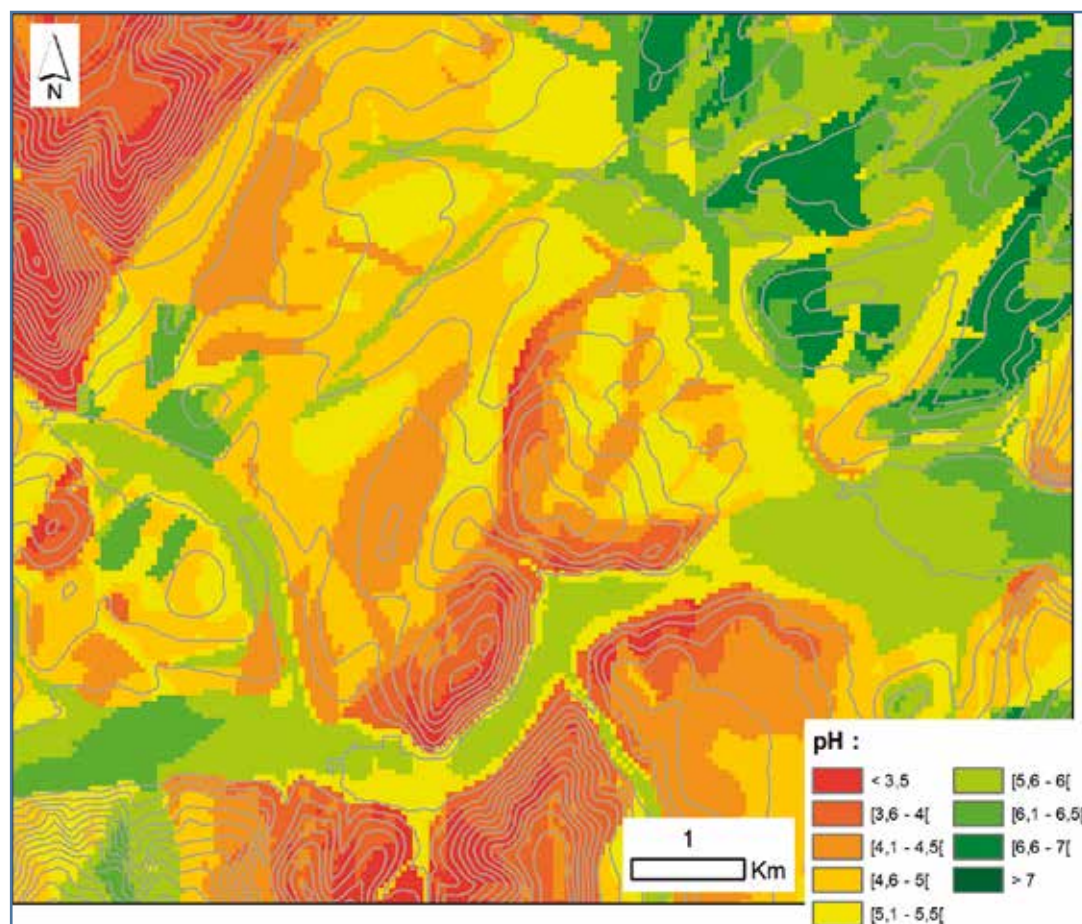


Tableau 2 - Principales cartes climatiques numériques actuellement disponibles en France.

Voir aussi un comparatif détaillé des avantages et inconvénients des différentes données climatiques, dans *Forêt-entreprise* consacré à l'outil BioClimSol n° 218 p.16-17 et n° 220 p. 46-52.

Bases de données	Origine	Principales données climatiques disponibles	Échelle temporelle	Résolution spatiale	Référence
AURELHY	Météo France	P, T, nombre de jours de pluie, de gelée et de canicule	Moyennes annuelles et mensuelles trentenaires : 1961-1990, 1971-2000 et 1981-2010	1 km	(Benichou & Le Breton, 1987; Canellas <i>et al.</i> , 2014)
ETPQ	Météo France	ETP (formule de Penman-Monteith tenant compte de T, du rayonnement solaire, du vent, de l'humidité atmosphérique)	Moyenne trentenaire : 1971-2000 et 1981-2010	12 km	
SAFRAN	Météo France	P, T, humidité, vent, rayonnement solaire, ETP (Penman-Monteith)	Données horaires de 1958 à aujourd'hui	8 km	(Vidal <i>et al.</i> , 2010)
Digitalis	LerfoB	Rayonnement solaire, ETP (formule de Turc fondée sur les températures et le rayonnement solaire), bilan hydrique climatique et édaphique	Moyennes mensuelles : différentes périodes depuis 1961	50 m à 1 km	(Piedallu, 2014)
GIEC	GIEC	Simulation des évolutions possibles du climat au cours du XXI ^e siècle selon différents modèles et scénarios	2000-2100	Variable (plusieurs km)	(IPCC, 2014)

Enfin, il existe des cartes des propriétés des sols réalisées par bio-indication ou à l'aide de données écologiques relevées sur le terrain. Citons par exemple les cartes de pH, C/N, S/T ou d'engorgement, élaborées à l'aide de la flore indicatrice ou les cartes de profondeur de sol, de texture, de charge en cailloux, de réserve utile maximale (RUM) des sols, issues des relevés IGN¹²⁾ (figure 2). Ces données ont l'avantage par rapport aux précédentes d'avoir une action clairement identifiable au regard de la végétation. Certaines sont disponibles sous le portail SILVAE¹³⁾, d'autres sur le site du GIS sol. Elles ne permettent pas toutes une utilisation locale. Cependant, le développement de cartes à haute résolution spatiale sur un certain nombre de régions permet de les utiliser avec succès à l'échelle du massif, voire de la forêt¹⁴⁾.

Les données climatiques

La prise en compte du climat est primordiale pour étudier les stations et leurs potentialités, en particulier dans un contexte de changement climatique. De nombreux paramètres sont mesurés par les stations météorologiques de Météo-France, à des pas de temps variables¹⁵⁾ (de l'heure jusqu'au mois) : températures (T), précipitations (P), évapotranspiration potentielle (ETP), rayonnement, vent, humidité atmosphérique... Certaines séries de températures et de pluviométrie ont été corrigées de différents biais liés à des chan-

gements de conditions de mesure, et sont commercialisées sous le nom de « séries homogénéisées »¹⁶⁾. Ces informations peuvent être utilisées et combinées pour estimer localement le bilan hydrique des sols forestiers¹⁷⁾. Outre les données ponctuelles issues de relevés, plusieurs modèles mettent à disposition des cartes climatiques à différentes échelles spatiales et temporelles (tableau 2). Si la plupart d'entre elles caractérisent le climat passé à partir de mesures, certaines permettent de simuler l'évolution possible du climat dans le futur (modèles centralisés par le GIEC). Du fait de la forte hétérogénéité des prévisions pour un même scénario (c'est-à-dire pour une même hypothèse d'augmentation du taux de CO₂), il est fortement recommandé d'utiliser les valeurs de plusieurs modèles afin de simuler une gamme d'évolutions réalistes.

Plusieurs portails web ont pour vocation de mettre à disposition, des données climatiques. Il s'agit entre autres des portails DRIAS¹⁸⁾, Climat-HD¹⁹⁾ et SCAMPE²⁰⁾ développés par Météo France, ainsi que du portail SILVAE²¹⁾ du Lerfob.

Quelques utilisations

Nous avons cherché à identifier les principales applications récentes de ces données numériques spatialisées en lien avec la typologie des stations et la définition des potentialités forestières. Différentes catégories d'études

12) Gégout *et al.*, 2008.

13) <http://silvae.agroparistech.fr/home/>
14) Piedallu *et al.*, 2006
15) <http://publitheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWebPubli/index.jsp>

16) Gibelin *et al.*, 2014
17) Granier *et al.*, 1995; <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/>;
Richard *et al.*, 2013.

18) www.drias-climat.fr, voir aussi le portail Drias en p. 53.

19) <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>
20) <http://www.cnrn.meteo.fr/scampe/>

21) <http://silvae.agroparistech.fr/home/>

Tableau 3 - Quelques usages appliqués des cartes numériques en lien avec la typologie des stations forestières et leurs potentialités.

Les références citées sont illustratives et non exhaustives des travaux en lien avec ces thématiques.

Typologie et cartographie des stations forestières	Pré-étude et mise au point d'un échantillonnage ciblé pour élaborer une typologie des stations forestières ou une carte des stations forestières (Bazin et Gaudin, 2004)
	Cartographie de facteurs écologiques (pH, RUM, bilan hydrique) et de leur évolution dans le temps (Piedallu <i>et al.</i> , 2011)
	Cartographie prédictive des stations forestières (Gégout <i>et al.</i> , 2008 ; voir projet EcoGéoDyn présenté en p. 44)
Autécologie et choix des essences	Prise en compte de la contrainte hydrique dans le choix des essences (Richard <i>et al.</i> , 2013)
	Modélisation de la niche écologique actuelle et future des essences (Badeau <i>et al.</i> , 2005 ; Piedallu <i>et al.</i> , 2009).
	Études sur le dépérissement des essences en lien avec les conditions climatiques et développement de cartes de vigilance climatique (Outil BioClimSol présenté dans le Forêt-entreprise n°218)
	Modélisation de la croissance actuelle et future des essences (Seynave <i>et al.</i> , 2004 ; Seynave <i>et al.</i> , 2006; Charru, 2012)
	Cartographie des potentialités sylvicoles (Boissier & Molines, 2014)
Sensibilités des sols forestiers	Cartographie de la sensibilité des sols forestiers au tassement et à l'orniérage (Staub, 2009)
	Cartographie de la sensibilité des sols forestiers à l'appauvrissement chimique (Piedallu <i>et al.</i> , 2010)

apparaissent, concernant la caractérisation des conditions de milieu, la cartographie de la distribution, de la croissance, ou de l'état de santé des arbres, ainsi que la sensibilité des sols (*tableau 3*). Dans ces études, les données numériques spatialisées sont principalement utilisées pour réaliser des échantillonnages, pour caractériser les conditions de milieu en un lieu défini (mise en relation entre la flore ou les essences et les caractéristiques du milieu), ou pour réaliser des cartes prédictives.

Conclusion

Dans un contexte où l'adaptation des forêts au changement climatique nécessite de mieux comprendre les relations entre les espèces et les facteurs écologiques (sol, relief, climat), le développement et la mise à disposition de bases de données spatialisées offrent d'importantes opportunités pour le forestier.

L'utilisateur doit cependant être vigilant quant à la qualité et aux limites d'usage de ces données. Il est recommandé de privilégier celles qui sont fournies par des institutions reconnues ou dont la méthode d'élaboration, la validation et les limites d'usage sont publiées. De plus, leur pertinence, leur qualité, la gamme d'échelles spatiales, leur domaine de validité et leur adéquation par rapport aux besoins doivent être soigneusement étudiés avant tout usage. Par exemple, pour des études locales, les données liées au sol, fortement variables dans l'espace, doivent être vérifiées et corrigées si besoin à l'aide de données de terrain. Une bonne utilisation des informations existantes contribue au développement de nouveaux outils de gestion (cartes prédictives des stations, cartes de distribution ou de croissance des essences...), intégrant à la fois la variabilité des sols et du climat, et pouvant prendre en compte les effets du changement climatique en cours. ■

Nos remerciements pour leur relecture à I. Seynave, V. Perez, B. Jabiol, M. Chartier.

À retenir

Des données spatialisées sont utilisables pour caractériser la variabilité des milieux forestiers et leurs potentialités sylvicoles. Il s'agit de bases de données phytoécologiques géoréférencées et de cartes numériques (climat, topographie, sol et sous-sol) disponibles sous Système d'information géographique (SIG).

Les applications de ces données sont nombreuses : typologie des stations forestières, études sur l'autécologie des essences, cartographie prédictive des stations forestières et de la sensibilité des sols forestiers, etc.

Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage

Par Sylvain Gaudin CNPF-CRPF Champagne-Ardenne, Christian Piedallu, Inra-Lerfob, Florentin Madrolles et Jean-Baptiste Reboul, CNPF-CRPF Normandie

Les outils dont disposent les forestiers sont de plus en plus nombreux et performants. Les bases de données, les SIG ou les GPS changent ainsi les manières de cartographier les stations forestières. Cet article présente une synthèse des approches actuelles.

La cartographie des stations comprend l'inventaire d'unités écologiques homogènes présentes en un lieu donné et la représentation de leur distribution dans l'espace. Une carte des stations est un outil précieux, voire indispensable dans toute démarche d'aménagement forestier, car elle permet de caractériser pour chaque unité les potentialités et les risques. Outre son utilisation évidente dans le choix des essences à favoriser lors du renouvellement des peuplements, elle permet d'optimiser le dosage des essences lors des travaux de dégagement ou des martelages, de localiser les sols fragiles lors des débardages ou de concentrer les investissements sylvicoles sur les sols les plus productifs...¹⁾.

Si la cartographie des stations est couramment pratiquée pour l'aménagement des forêts publiques, elle n'est pas imposée dans les plans simples de gestion (PSG) en forêt privée. Ainsi, même s'il existe une disparité entre régions, les cartes des stations y sont très rares. Parfois, il est fait référence dans le PSG aux principales stations présentes sur la forêt, mais sans qu'elles soient cartographiées.

L'avènement des outils numériques a changé beaucoup de pratiques forestières, dont la cartographie des stations. Le déploiement des bases de données, les systèmes d'information géographique (SIG) et les récepteurs GPS permettent non seulement un gain de temps, mais également le développement de nouvelles approches jusqu'alors impossibles. La cartographie des stations s'est d'abord faite à l'aide de relevés de terrain (méthode par échantillonnage). Désormais, une approche utilisant des cartes prédictives se développe dans certaines régions²⁾. Cet article présente ces deux approches, les compare et décrit les évolutions possibles.

La cartographie des stations par échantillonnage

Historiquement, la cartographie des stations a été réalisée à l'échelle de chaque forêt, à partir de relevés phytoécologiques de terrain (détermination de la flore du sous-bois, de la topographie locale, des principales caractéristiques du sol) (figure 1). Le plus souvent, les clés de détermination disponibles dans les guides

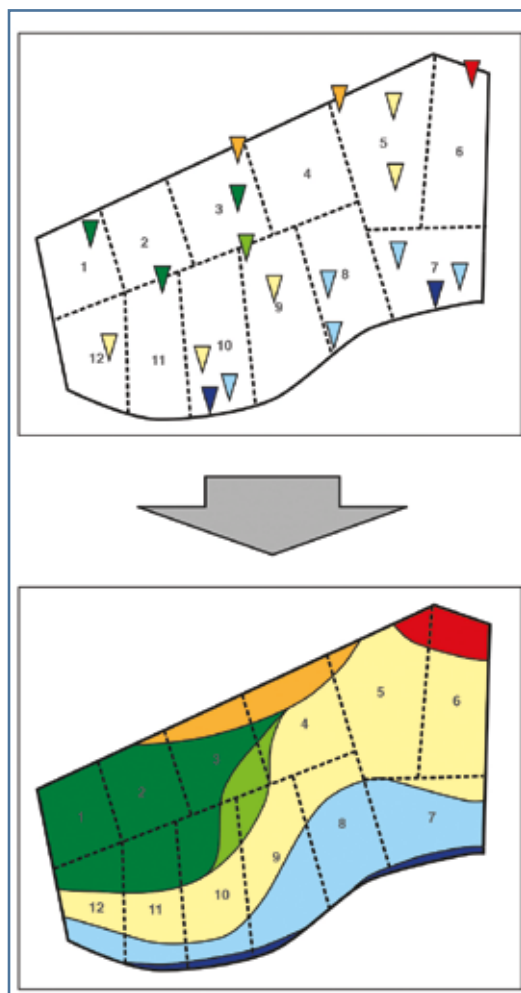
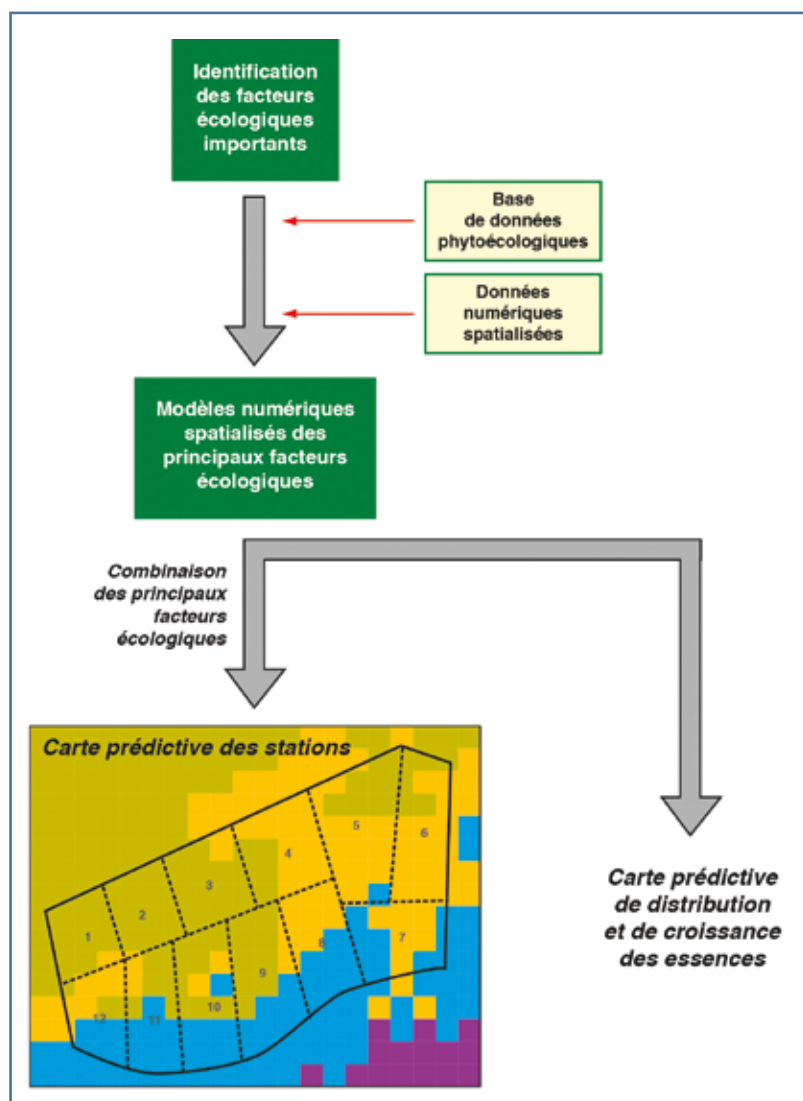


Figure 1 – Des relevés de terrain symbolisés par les triangles permettent de déterminer localement les types de stations (couleur du triangle). La carte est obtenue par interprétation à partir de ces relevés et d'informations complémentaires (catalogue des stations, courbes de niveau, géologie, exposition...).

1) Bazin et Gaudin, 2004 ; Gaudin *et al.*, 2011.
2) Gégout *et al.* 2008, voir l'article du projet EcoGéoDyn page 44-48.

Figure 2 – Méthode d'élaboration des cartes prédictives des stations. Cette méthode permet également de produire des cartes prédictives pour la distribution des essences.



ou les catalogues de stations permettent de classer les relevés et de connaître directement les potentialités des stations. Dans les zones où ces ouvrages ne sont pas disponibles, un travail de synthèse complémentaire est nécessaire pour définir des unités cartographiques homogènes.

Le nombre de relevés à effectuer dépend de la surface à cartographier, de la variabilité locale des stations et de la précision souhaitée. Les relevés peuvent être réalisés en suivant les mailles d'une grille systématique, des lignes orientées selon la plus grande variation supposée des stations (transects) ou selon un zonage préalable construit en tenant compte *a priori* de tous les facteurs locaux pouvant influencer sur la distribution des sols : géologie, topographie, nature des matériaux de surface, présence de cours d'eau...³⁾ L'utilisation d'un GPS simplifie fortement le travail de terrain.

L'opérateur peut ainsi naviguer vers les points qu'il a précédemment définis pour y réaliser ses relevés⁴⁾, ou noter avec précision l'emplacement des relevés effectués⁵⁾, ce qui facilite la localisation par rapport aux outils traditionnels (mesureur à fil perdu et boussole) et fait gagner du temps.

Le tracé des contours des stations à partir des relevés est plus ou moins facile, selon les cas. Parfois, le parcours sur le terrain permet de les repérer avec précision et de positionner les changements stationnels sur la carte. C'est par exemple le cas, lorsqu'il y a un changement net de la végétation indicatrice (apparition de la molinie ou de grandes laïches, présence de plantes traduisant une forte acidité du sol) ou de topographie (passage d'une station de versant à une station de plateau, délimitation d'une station très humide par une légère topographie en cuvette). Le tracé des limites s'appuie également sur tous les éléments intervenant dans la distribution des stations (géologie, répartition des sols, topographie, cours d'eau... ou toposéquences⁶⁾ usuelles présentées dans les catalogues de stations). L'apport des SIG est à ce niveau très intéressant, les informations géo-référencées disponibles étant de plus en plus nombreuses et facilement manipulables (croisement de couches, aide à la création de tracés...).

Les cartes prédictives des stations

Les données numériques spatialisées sont de plus en plus nombreuses et facilement disponibles. Elles concernent par exemple la topographie (modèles numériques de terrain représentant l'altitude, la pente, l'exposition...), le climat, la géologie, ou le sol⁷⁾. En couplant ces différentes couches à des bases de données phytoécologiques, il est possible de réaliser une cartographie prédictive des stations^{8) 9)}.

La *figure 2* résume les étapes permettant d'obtenir une telle carte. Il faut dans un premier temps identifier les facteurs écologiques ayant un sens physiologique, qui structurent les stations forestières de la région étudiée. Cela peut être la température (étages de végétation en montagne, effets de versant), le niveau trophique du sol (présence d'éléments chimiques favorables à la croissance des arbres), l'eau disponible pour les plantes ou encore l'engorgement du sol. Grâce à des bases de données phytoécologiques (comme celle de l'Inventaire forestier national ou la base

3) Bazin et Gaudin, 2004.

4) Gaudin *et al.*, 2006.

5) Piedallu et Gégout, 2002.

6) Séquence de sol ou de communautés végétales, en lien avec la topographie.

7) Voir l'article *Des données spatialisées au service de la description du milieu* p. 34-38 du dossier.

8) Gégout *et al.*, 2008.

9) Voir l'article sur le projet EcoGéoDyn p. 44-48.

EcoPlant¹⁰⁾, à des techniques de bioindication¹¹⁾ et aux données numériques spatialisées disponibles (cartes climatiques, cartes géologiques, modèle numérique de terrain...), il est possible de modéliser les principaux facteurs écologiques et de les spatialiser¹²⁾. Ainsi, dans les Vosges, le niveau trophique en un point donné peut être prédit à l'aide de la géologie, de la topographie, du drainage des sols et des grandes régions naturelles¹³⁾. Ces cartes de facteurs écologiques peuvent être utilisées directement pour prédire la distribution ou la croissance des essences en place. Elles peuvent également être transformées en classes puis combinées entre elles afin de dresser une cartographie prédictive des stations à l'échelle de la zone d'étude.

Si ces cartes prédictives ne nécessitent pas de campagnes de relevés de terrain comme pour la méthode de cartographie par échantillonnage, des informations collectées sur des placettes sont néanmoins nécessaires, pour leur calibration (le fait de travailler sur de vastes emprises permet l'utilisation de relevés phytocologiques déjà existants) et leur évaluation. Les cartes produites doivent être validées, en comparant par exemple les prédictions avec des relevés de terrain géo-référencés qui n'ont pas servi à leur construction.

Comparaison des méthodes

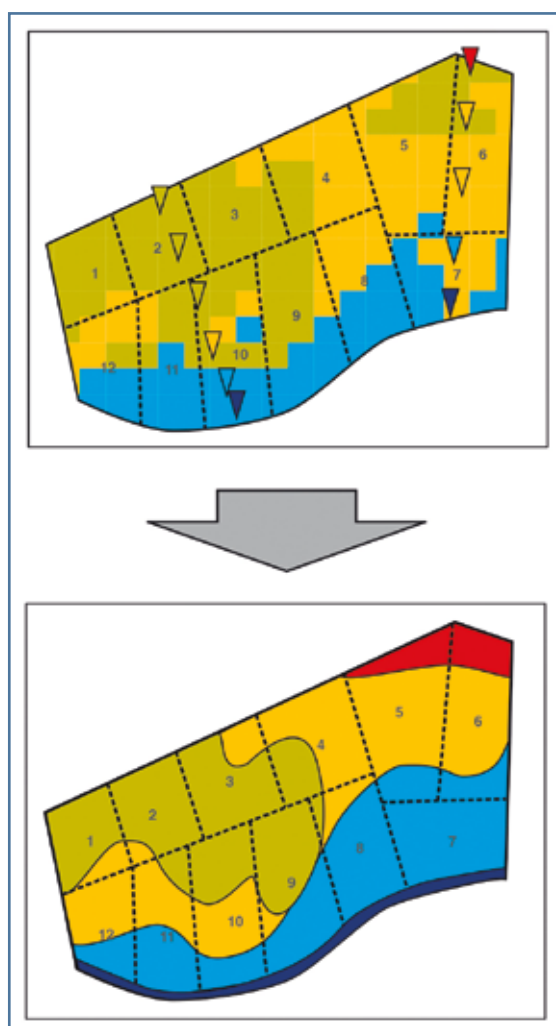
Des comparaisons peuvent être réalisées entre les cartes de stations produites selon ces deux méthodes. Évaluer la concordance est cependant très difficile du fait d'importantes différences méthodologiques, conduisant à la nécessité de regrouper certaines stations. Par exemple, le taux de classements concordants varie dans les Vosges entre 37 et 100 % selon la station, avec une meilleure prédiction pour le gradient bioclimatique et le gradient trophique que pour le gradient hydrique¹⁴⁾. Des résultats analogues sont obtenus en Normandie dans le cadre du projet *EcoGeoDyn*⁹⁾.

Les deux approches présentent chacune des avantages et des inconvénients (*tableau 1*, p. 42). La cartographie par échantillonnage a l'avantage de s'appuyer sur des relevés effectués localement, mais a l'inconvénient de nécessiter un travail de terrain conséquent, dès que les surfaces à cartographier sont importantes. Chaque carte obtenue par échantillonnage est indépendante (les documents de référence pour la description des stations, la méthode de parcours des forêts ou l'opérateur peuvent varier d'une forêt à l'autre). À l'opposé, les

approches prédictives permettent la réalisation à faible coût de cartes sur de vastes territoires, selon une méthode homogène. Elles intègrent les facteurs climatiques, et donc peuvent être utilisées pour l'évaluation des conséquences potentielles du changement de climat en cours. Cependant, il faut bien être conscient que la qualité des cartes prédictives des stations est dépendante de la qualité des informations initiales et du travail de synthèse réalisé lors de leur construction. Elles peuvent produire des résultats incohérents localement et nécessitent des vérifications de terrain.

Par exemple, l'oubli d'une formation superficielle (un placage limoneux, par exemple) sur une carte géologique intervenant dans la modélisation d'un ou plusieurs facteurs écologiques peut entraîner des prédictions localement fausses. Cette approche à de larges échelles peut ainsi masquer des particularités locales, qui pourront être mieux intégrées avec une approche par échantillonnage.

Figure 3 – Les deux transects réalisés sur le terrain (lignes de triangles) permettent de mettre en évidence quelques incohérences, de cartographier deux stations rares qui n'étaient pas prédites (en rouge et en bleu foncé) et de contribuer au tracé des limites.



10) Gégout *et al.*, 2005.

11) Obtention de paramètres environnementaux en utilisant les organismes présents. Par exemple, calcul du pH du sol en fonction des plantes présentes sur la station.

12) Piedallu *et al.*, 2014.

13) Gégout *et al.*, 2008.

14) Piedallu *et al.*, 2006.

Tableau 1 – Comparaison des méthodes de cartographie des stations

	Cartographie des stations	
	Carte par échantillonnage	Carte prédictive
Temps de réalisation	Lié à la surface à cartographier et à la précision souhaitée (définition lors du plan d'échantillonnage), important pour de grandes surfaces.	Le temps passé à la conception de la carte (modélisation, validation des résultats...) est relativement indépendant de la surface cartographiée. Permet de couvrir de vastes surfaces à faible coût.
Surface généralement concernée	Parcelle ou forêt : quelques hectares à quelques milliers d'hectares.	Grande région naturelle, région administrative.
Grain de la donnée	Selon la méthode d'échantillonnage et la densité des relevés.	En général pixels de 25 ou de 50 m de côté.
Découpage écologique des stations	Très fin (catalogue des stations) ou assez fin (guide des stations).	Variable selon les gradients pris en comptes et le nombre de classes réalisées, peut-être plus fin que l'approche des catalogues pour certains facteurs (climat, niveau trophique), moins pour d'autres (eau du sol), avec de fortes hétérogénéités sur la zone étudiée.
Nature des informations utilisées	Le plus souvent qualitatives (type de sols, type de stations, présence de groupes écologiques...), plus rarement quantitatives (réserve utile maximale).	Variables quantitatives, discrétisées en classes lors de la réalisation de la carte prédictive des stations.
Prise en compte des grands gradients climatiques	Difficile, approche uniquement qualitative (tranche d'altitude, station d'adret, d'ubac...).	Oui, à des échelles variables (gradients régionaux, topoclimat), selon la précision des données climatiques.
Prise en compte des changements climatiques	Difficile.	Les variables climatiques étant intégrées dans les modèles, il est possible de les faire varier pour simuler les évolutions.
Prise en compte des particularités locales des sols (nature des matériaux, niveau d'engorgement, niveau trophique...)	Par des observations de terrain reflétant la réalité observée au lieu du relevé. Possibilité de passer à côté de particularités locales entre deux relevés.	Plus difficile, variable selon le facteur considéré. Tendance à lisser les valeurs extrêmes.
Prise en compte de la variabilité spatiale locale	Selon la densité de relevés de terrain, assez bonne à forte densité.	Variable selon la qualité des modèles, principalement dépendante de la variabilité locale de la topographie et de la géologie.
Cartographie des stations marginales (éboulis, tourbières, bords de ruisseau...)	Possible, à condition d'avoir une méthode d'échantillonnage adaptée.	Pas de prise en compte dans les modèles des facteurs écologiques. Peut se faire avec des données complémentaires.
Limites des cartes produites et facteurs d'imprécision	- Pertinence du découpage en unités stationnelles - Pertinence et précision des éléments relevés sur le terrain - Effet opérateur : niveau de compétence, choix de la méthode de parcours de la zone à cartographier, position des limites entre les relevés de terrain...	- Pertinence et qualité des variables géoréférencées initiales - Peu d'observations de terrain à l'échelle locale - Niveau d'incertitude lié aux modèles construits - Carte pouvant être localement fautive si une composante engendrant la variabilité locale n'entre pas dans le modèle - Réalisation de classes pour créer la carte prédictive des stations - Le découpage en classes des unités stationnelles peut être une limite pour la prise en compte du changement de climat.

Vers une convergence des méthodes ?

Le *tableau 1* montre que les deux approches cartographiques diffèrent sur un certain nombre de points, mais peuvent également se compléter. Ainsi, les opérateurs qui réalisent

des cartes de stations selon la méthode par échantillonnage utilisent de plus en plus les données numériques spatialisées disponibles pour améliorer leur cartographie et en diminuer le coût. Lors de la préparation de la phase de terrain, l'analyse sous SIG des données géologiques ou topographiques aide à définir

À retenir

Avec la multiplication des bases de données et de la mise en œuvre de nouveaux outils informatiques, il est possible de réaliser plus rapidement des cartes de stations et d'établir des cartes prédictives sur de vastes territoires. La prise en compte des différentes stations à l'échelle de sa forêt permet au sylviculteur d'améliorer sa gestion forestière.

La cartographie des stations permet de connaître les essences à introduire ou à favoriser et plus généralement d'optimiser la gestion des forêts. De nouvelles méthodes ainsi que des aides techniques comme les SIG et les GPS permettent de réaliser désormais des cartes à moindre coût. Cartographier ses stations reste un investissement certes, mais un investissement rentable, voire fondamental pour anticiper au mieux les changements climatiques.

le parcours qui sera suivi et à concentrer les relevés là où ils seront les plus utiles. En effet, il ne sert à rien de multiplier les sondages sur les zones homogènes et il faut, au contraire, les positionner sur les zones de forte transition, de façon à ne pas sous-échantillonner les stations rares ou de faible étendue. Toujours dans le cadre de cette méthode, une phase importante est le tracé des limites stationnelles à partir de relevés de terrain. Toute donnée spatialisée supplémentaire, précise et de qualité, contribue à définir ou affiner les tracés.

Au regard des expériences acquises, les cartes prédictives obtenues par modélisation semblent bien indiquer les grands gradients de variabilité sur le terrain, mais peuvent parfois masquer une part de la variabilité locale, particulièrement à l'échelle de forêts de petite taille. Par ailleurs, le degré de fiabilité des cartes prédictives varie fortement selon les régions naturelles prises en compte. En effet, sur certaines, les données spatialisées disponibles traduisent bien la variabilité des stations alors que cela fonctionne moins bien sur d'autres. La carte prédictive peut ainsi servir de pré-cartographie, qui doit être vérifiée et corrigée si nécessaire par des relevés de terrain judicieusement choisis (*figure 3 p. 41*), ce qui permet :

- d'éliminer des variations de stations prédites, mais pas retrouvées sur le terrain ;
- d'ajouter des variations stationnelles non prédites par la carte prédictive ;
- de déplacer des limites entre stations pour affiner la carte ;
- de repérer et cartographier les stations rares ou de faible étendue qui ne seraient pas prises en compte par la méthode.

La réalisation de cartes prédictives des stations est récente en France et ne concerne encore qu'un nombre d'études limité (massif vosgien et travail en cours dans le Nord-ouest). Leur usage d'un point de vue pratique par les

gestionnaires forestiers est en cours de développement, notamment en ce qui concerne la vérification et la correction des erreurs¹⁵⁾. Dans un contexte où de nombreuses zones ne sont pas couvertes par des cartes de stations, particulièrement en forêt privée, et où le changement de climat en cours nécessite plus que jamais une bonne connaissance du milieu naturel pour orienter au mieux la gestion des peuplements, la cartographie prédictive offre une opportunité à saisir. Elle ne doit cependant pas s'opposer aux méthodes par échantillonnage. Si les cartes prédictives indiquent les gradients de stations sur de grandes surfaces, les relevés de terrain judicieusement disposés assurent une bonne validité locale. Dans une logique de convergence des méthodes, il apparaît important d'utiliser des approches compatibles pour définir et nommer les types de stations. Les cartes prédictives des stations s'inscrivent dans un cadre plus général de création et de diffusion de données numériques spatialisées. Des cartes prédictives concernant la distribution potentielle des espèces, leur croissance ou leur vulnérabilité potentielle peuvent également être établies. Il est important de garder une cohérence entre ces cartes, notamment dans le cadre de l'étude des effets du changement climatique. ■

15) voir l'article du projet *EcoGéoDyn* en Normandie article p. 44-48.

En savoir⁺

La cartographie des stations, méthodes et conseils
par N. Bazin et S. Gaudin, CRPF de Champagne-Ardenne
11 fiches en ligne :

http://www.cnpf.fr/data/info/381245-Fiches_Cartographie_des_stations.pdf

Le projet EcoGéoDyn en Normandie : des cartes prédictives aux utilisations pratiques dans les forêts normandes

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

En Normandie, le projet EcoGéoDyn vient compléter les outils typologiques existants. La méthode est fondée sur de nombreux relevés phyto-écologiques, ainsi que des analyses statistiques et cartographiques. Un réseau de 12 forêts pilotes en Basse-Normandie a mieux défini les avantages, limites et améliorations possibles de cet outil.

Actuellement, le temps consacré aux diagnostics forestiers est malheureusement de plus en plus réduit¹⁾, alors que les enjeux se multiplient : mobilisation supplémentaire de bois, changement climatique... Ce constat a été fait en Normandie pour le diagnostic de stations. En effet, peu de PSG contiennent des cartes de stations forestières ou des diagnostics de station, alors que le contexte pédologique et climatique est varié. Pourquoi ce désintéressement pour le diagnostic de station ? Quels moyens mettre en place pour le rendre plus attrayant ? La mise à disposition de cartes prédictives des stations forestières couplée à un guide régionalisé de description des stations forestières et de choix des essences, a paru être une solution permettant de simplifier et de motiver le diagnostic. Ainsi, en 2012, est né le projet EcoGéoDyn. Il a été lancé en Basse-Normandie, puis étendu à la Haute-Normandie en 2014.

Des besoins et enjeux de diagnostic multiples : une réponse par la cartographie

Le premier enjeu majeur consiste à **éviter des erreurs de gestion** dues à la non prise en compte des conditions stationnelles faute de documents de référence ou du coût de collecte et d'analyse de l'information. C'est particulièrement le cas en Normandie pour les **peuplements pauvres**²⁾ (80 000 ha soit 20 % de la surface forestière) où les enjeux de reboisement sont importants à court terme. **Parmi les peuplements pauvres bas-normands, 40 % ne sont pas couverts par un guide ou un catalogue de stations.** L'intégration du climat et de ses évolutions

dans les diagnostics de stations ainsi que dans les préconisations de gestion constitue un autre enjeu majeur. En effet, tous les Normands ne sont pas égaux face aux conditions climatiques. C'est notamment le cas de la pluviométrie³⁾ qui peut varier du simple au double (de moins de 600 mm à plus de 1 200 mm de pluie en moyenne par an) en l'espace de quelques km (entre le Nord-ouest et le Sud-ouest du Calvados par exemple).

Le troisième enjeu consiste en la **préservation du capital sol, très fragile**. En effet, l'**appauvrissement** des sols et les problématiques liées aux **tassements** posent de nombreuses questions en Normandie, dans un contexte de demande croissante en bois énergie. Caractériser et quantifier ces sensibilités à l'échelle régionale aideront à la prise de décision du forestier et la mise en place de la politique forestière régionale de mobilisation.

Les catalogues de stations et les rares guides simplifiés à l'échelle de la Normandie sont peu utilisés par les praticiens de terrain malgré ces enjeux, pourquoi ?

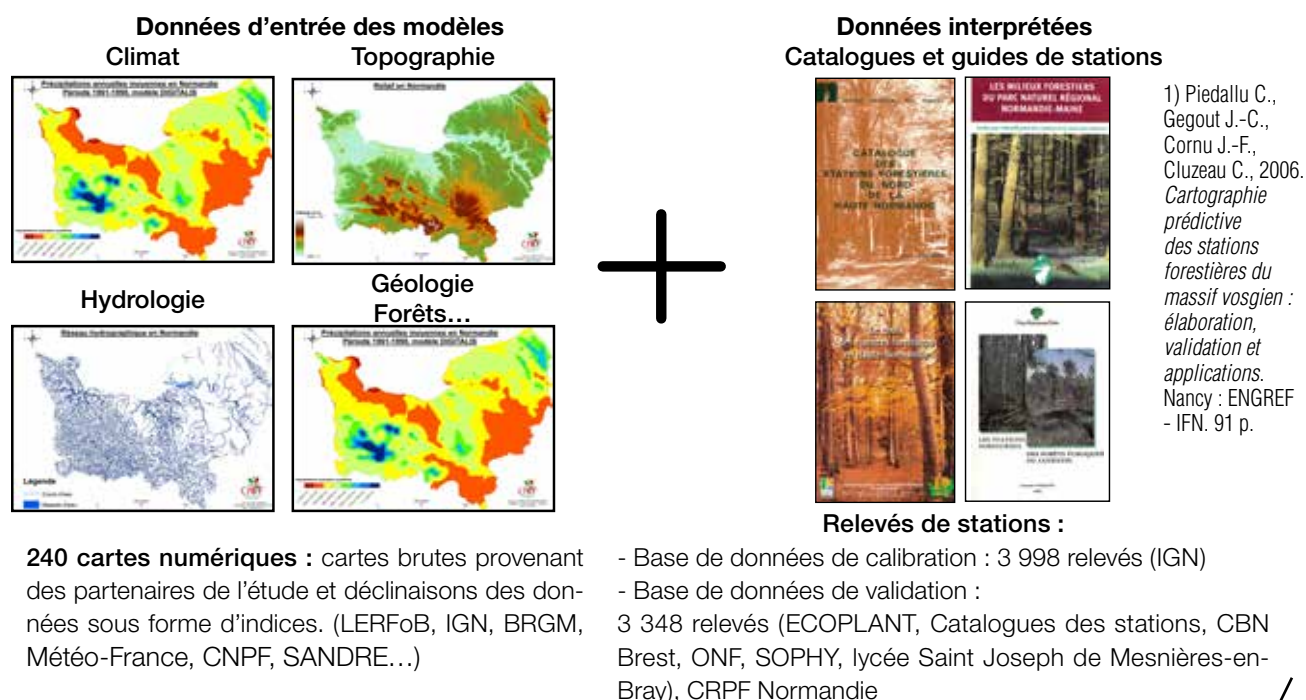
- une **couverture incomplète** du territoire normand (7 catalogues et 5 guides couvrent environ 2/3 de la Normandie) ;
- des documents difficilement vulgarisables et utilisables sur le terrain (**pas ou plus disponibles** en version papier, **manque de fonctionnalité** et de simplicité) ;
- absence d'intégration du climat et de son évolution dans ces documents âgés de 25 à 35 ans ;
- des **typologies de stations non uniformisées** entre régions naturelles limitrophes... Néanmoins, ces outils typologiques restent des **ouvrages de références** utilisable par

1) Forêt-entreprise n° 214, dossier *Du diagnostic à l'action, démarche d'aide à la décision du sylviculteur*.

2) Peuplement pauvre : peuplement en impasse sylvicole dans un contexte stationnel à fort potentiel de production.

3) voir figure 3 p. 51 de l'article *Typologie des stations forestières et choix des essences en contexte de changements climatiques*.

Figure 1 - Schéma synthétique de l'élaboration des cartes prédictives de facteurs écologiques et des stations forestières en Normandie, inspiré de la méthodologie élaborée dans le Massif vosgien¹⁾.



- Définition des groupes d'espèces indicatrices de flore (analyses statistiques multivariées, écogramme)
- Harmonisation des typologies des stations entre les différents guides et catalogues de stations.

→ **On identifie des facteurs écologiques structurant la répartition des stations forestières**

Niveau hydrique	Sec	Hyper-acidiphiles	Acidiphiles	Acidiclines	Neutroclines		Neutro-nitrophiles	Neutrocalcicoles
	Moyen							
	Frais				Hygro-neutroclines		Hygro-neutro-nitrophiles	
	Humide (variations saisonnières)	Hyperacidiphiles et acidiphiles de milieux engorgés		Acidiclines de milieux humides	Hygrophiles			
	Très humide (toute l'année)							
			Très acide	Acide	Assez acide	Peu acide	Riche	
		Niveau trophique						

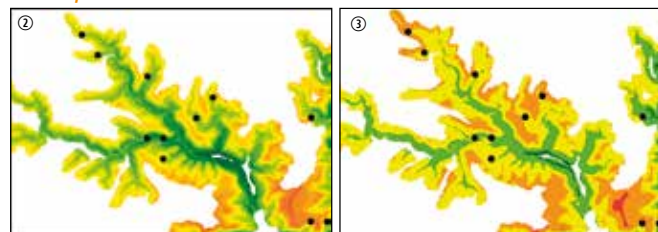


© CNPF

- Modélisation statistique des facteurs écologiques à partir des relevés de calibration ① (régressions linéaires multiples)
- Spatialisation des modèles de facteurs écologiques ②
- Classification des modèles et des cartes ③
- Évaluation et validation des cartes prédictives de facteurs écologiques

→ **On obtient une carte prédictive pour chaque facteur écologique**

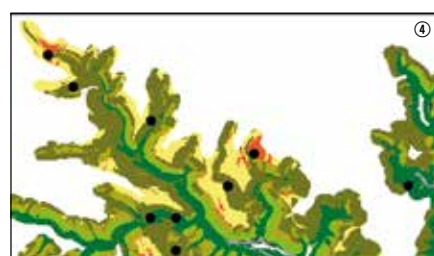
- ① : Relevés de calibration
 ② : Modèle du pH spatialisé
 ③ : Modèle du pH classifié et testé
- Très acide en rouge à calcaïque à calcaire en vert foncé.*



- Élaboration de la carte prédictive des stations forestières à partir du croisement des cartes prédictives de facteurs écologiques
- Évaluation et validation de la carte prédictive des stations forestières

→ **On obtient la carte prédictive des stations forestières**

Cartes prédictives :
 pH
 + hydromorphie
 + réserve en eau
 = Pré-stratification des stations forestières
Chaque couleur correspond à type de station potentiel.



des professionnels ayant des compétences en botanique ou en pédologie. La carte prédictive des stations permettra cette uniformité de description à l'échelle du territoire normand et sa couverture complète par une référence typologique. Le guide de station (en cours de rédaction) complémentaire à la carte prédictive, propose une synthèse fonctionnelle de ces anciens outils typologiques complets (guides et catalogues de stations existants).

Performance des cartes prédictives

La méthode schématiquement résumée en *figure 1* a permis la modélisation et la spatiation de trois facteurs écologiques :

- 1) **pH bio-indiqué** des sols à l'aide des valeurs indicatrices d'Ecoplant⁴⁾ ;
- 2) **niveau d'hydromorphie** (profondeur d'apparition d'un horizon rédoxique⁵⁾ ou réduction) ;
- 3) **réserve en eau maximale** des sols (estimation sur 95 cm de la quantité d'eau maximale retenue par le sol).

Chaque carte prédictive élaborée a bénéficié d'une validation à partir d'un jeu de données indépendant de celui ayant servi à la calibration des modèles. Le test de la qualité des modèles et leurs validations sont effectués selon plusieurs techniques.

Le croisement des cartes des facteurs écologiques classifiés permet l'élaboration de la carte prédictive des stations forestières. Cette carte régionalisée constituée respectivement de 12 et 15 unités stationnelles (US) en Basse et Haute-Normandie, permet une bonne prédiction des US dans plus de 40 % des cas. À titre de comparaison, le hasard avec 12-15 US permettrait une bonne prédiction des US dans seulement 6-8 % des cas. On a donc amélioré par un facteur 6 la prédiction. Grâce à la carte prédictive, on connaît la gamme des stations potentielles sur un massif et leurs délimitations. De plus, lorsque la carte prédictive se trompe, il s'agit très souvent d'un type de station voisin de celui prédit (erreur d'un niveau de facteur écologique). Néanmoins, malgré ces résultats encourageants, les cartes prédictives sont donc actuellement destinées à des travaux de stratification. Une phase sur le terrain sera toujours nécessaire pour valider et affiner les limites des unités prédites.

Un réseau de forêts pilotes

Un réseau de 12 forêts pilotes de surface comprise entre 17 et 209 ha a été sélectionné en Basse-Normandie avec l'aide du CETEF Normandie-Sud. Ces forêts ont servi de test et à la valorisation des cartes prédictives, notamment pour la mise en place de cartes de stations forestières. Elles ont aussi aidé à la réalisation d'un guide régional de description de stations forestières en Normandie et de choix des essences. Elles serviront également de vitrines sur les usages de la carte prédictive lors des sessions de formation.

La méthode retenue pour réaliser les cartes de stations forestières en s'aidant de la carte prédictive est **la cartographie des stations forestières par zonage préalable avec transects** (voir encadré p. 47).

Grâce à ces 12 forêts pilotes, ce sont **923 ha** de forêts qui ont été cartographiés à l'aide de **257 relevés collectés** au cours de 17,5 jours de terrain. **En moyenne, un relevé est donc réalisé pour cartographier entre 3 et 4 ha. Cela permet, en réalisant en moyenne 14-15 relevés par jour, de cartographier entre 40 et 60 ha en une journée de terrain, contrairement à une méthode traditionnelle qui permet en moyenne de cartographier 10-20 ha/jour avec 1 relevé/ha.**

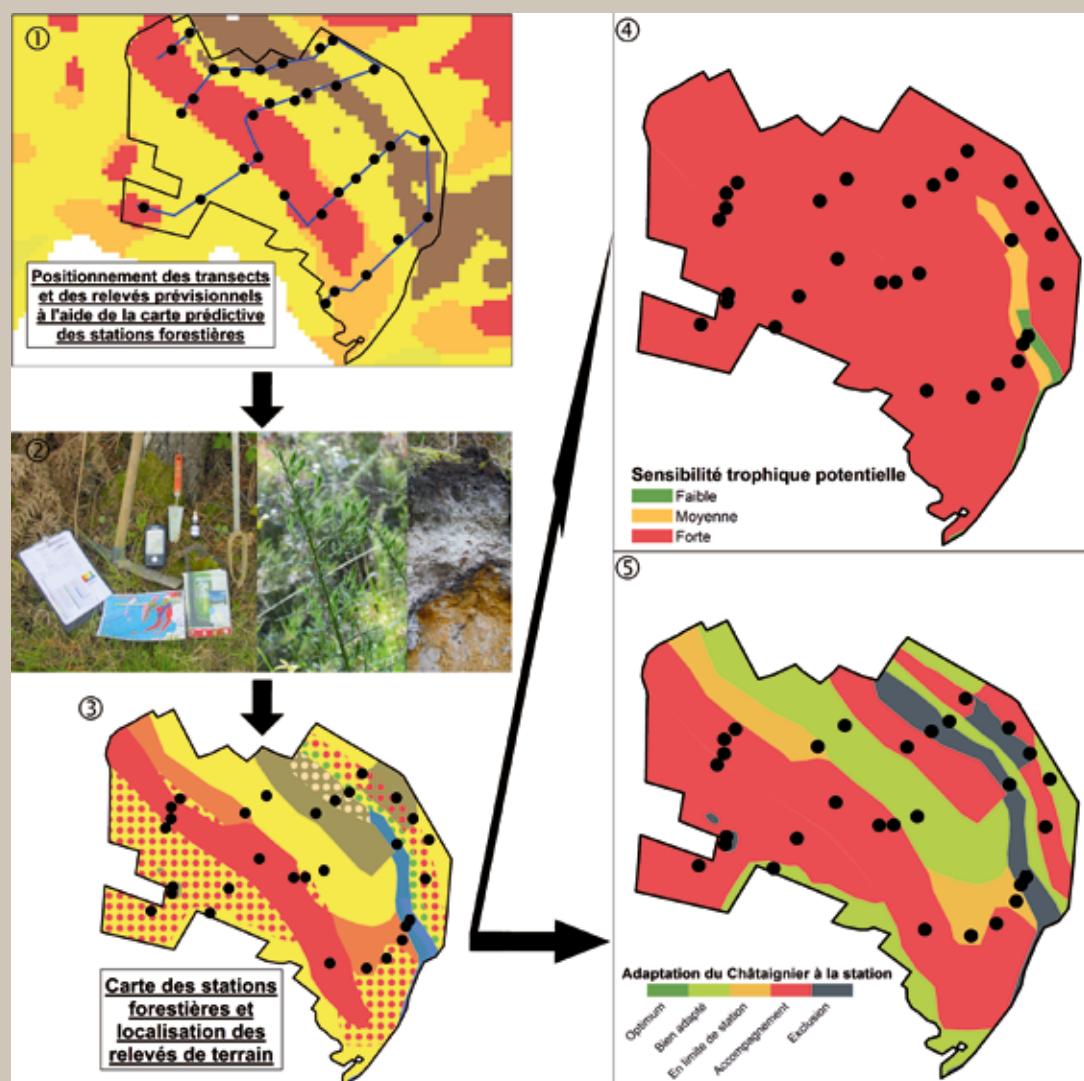
Cette méthode représente un gain de temps variable selon la forêt, la diversité des stations..., mais important par rapport aux méthodes plus traditionnelles (systématique, par transects seuls). **Plus la surface cartographiée est importante, plus le gain de temps est important.** Par exemple, une forêt pilote de 209 hectares a nécessité seulement 1,5 jours de terrains pour obtenir la cartographie des stations alors qu'une autre forêt pilote a nécessité près d'un jour de terrain pour cartographier une vingtaine d'hectares.

Limites d'utilisation des cartes prédictives et améliorations possibles

Les cartes prédictives de facteurs écologiques n'offrent qu'une utilisation limitée pour le moment en Normandie et ne servent qu'à une stratification devant être impérativement validée sur le terrain. En effet, malgré les résultats relativement bons de prédictions spatiales, les erreurs sont encore assez nombreuses notamment lors de la détection de certains paramètres (hydromorphie) et au niveau des limites

4) Gegout J.-C., 2001. *Création d'une base de données phytoécologiques pour déterminer l'autécologie des espèces de la flore forestière de France*. Revue Forestière Française, LIII, n° 3-4, p. 397-403

5) Sol hydromorphe.



Comment est utilisée et déclinée la carte prédictive des stations forestières ?

La réalisation et les déclinaisons d'une carte des stations forestières s'appuient sur la carte prédictive et un guide de description des stations et de choix des essences. En Normandie, ce guide est en cours de révision et devrait paraître en 2017-2018.

Après avoir positionné des transects pour parcourir la forêt (①) selon la carte prédictive, une phase de relevés de terrain sur la forêt (②) permet de dresser la carte des stations forestières (③) en utilisant un guide de station. La carte ainsi établie peut être déclinée. Ainsi, en utilisant respectivement le guide Ademe sur la récolte raisonnée des rémanents¹⁾ et le guide PROSOL²⁾, on peut obtenir des cartes de sensibilité potentielle des sols à l'appauvrissement (④) et au tassement. Parmi les autres déclinaisons possibles, on peut élaborer des cartes d'adéquation essence station (⑤) en se fondant sur les préconisations des guides de stations de la région concernée.

1) Cacot E., Eisner N., Charnet F., Léon P., Rantien C., Ranger J., 2006. *La récolte raisonnée des rémanents en forêt*. Ademe Éditions 36 p.

2) Pischedda D., 2009. Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt *PROSOL*. ONF-FCBA. 110 p.

spatiales des classes des facteurs spatialisés. Les cartes prédictives donnent les types de stations pouvant être rencontrés dans un secteur donné (1/50 000^e) ainsi que l'enchaînement général de ces types de stations. Pour améliorer de manière significative ces cartes, plusieurs pistes sont envisagées :

- intégrer les cartes pédologiques au 1/250 000^e (DONESOL) bientôt disponibles sur l'ensemble du territoire national, qui donnent des informations sur les couvertures superficielles des sols (épaisseur des limons par exemple) que ne donnent pas les cartes géologiques du BRGM ;
- intégrer les cartes pédologiques au 1/50 000^e plus précises mais peu nombreuses sur le territoire national ;
- alimenter progressivement le jeu de données de calibration avec les nouvelles données de l'inventaire forestier IGN/IFN ;
- utiliser des modèles numériques de terrain (relief) plus fins (résolution de 1 m, 5 m). Néanmoins, ces données sont 5 à 25 fois plus volumineuses pour les calculs, que le traditionnel MNT au pas de 25 m et ne sont pas encore disponibles sur l'ensemble du territoire national ;
- intégrer des cartes à fine échelle sur l'ancienneté de l'état boisé qui a un impact sur le niveau trophique ;

- privilégier le travail à l'échelle des grandes régions écologiques (GRECO) plutôt que des régions administratives. Néanmoins, les contraintes techniques (disponibilité des données sources, partenaires, temps...) et financières ne permettent pas toujours de travailler à cette échelle.

Perspectives

Les cartes prédictives des stations forestières ont été initialement élaborées dans le Massif vosgien, mais un travail de développement pour un usage pratique par les forestiers n'a pas été fait. Ce travail, encore en cours, en Normandie a permis d'identifier des axes potentiels d'améliorations. Ces pistes vont être testées sur les régions Normandie, Nord-Pas de Calais-Picardie, Île-de-France et Centre-Val-de-Loire grâce à un projet soutenu et cofinancé par le Réseau Mixte Technologique Adaptation des Forêts aux Changements Climatiques (RMT Aforce) et le Labex ARBRE (Recherches Avancées sur la Biologie de l'Arbre et les Écosystèmes Forestiers).

Le projet normand a défini des valorisations opérationnelles de ces modèles, qui sont à présent reproductibles à d'autres échelles et sur d'autres territoires. À terme, les cartes prédictives serviront également à mieux connaître l'autécologie de nos essences en aidant à mettre en place un échantillonnage équilibré couvrant la diversité des sols et de climats... ■

À retenir

En Normandie, des cartes prédictives des stations forestières sont élaborées afin de mieux cerner les variations stationnelles et de préciser l'autécologie des essences en fonction des sols, de la topographie, du climat et de son évolution. Un réseau de forêts pilotes valide les performances de ces cartes prédictives de stations forestières.

1) LERFoB : Laboratoire d'étude des ressources forêt – bois

2) CETEF Normandie Sud : Centre d'études techniques et d'expérimentations forestières du Sud de la Normandie

3) DRAAF : Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt

4) IGN : Institut géographique national

5) IDF : Institut pour le développement forestier rattaché au CNPF (Centre national de la propriété forestière)

6) ONF : Office national des forêts

7) COFOROUEST : Coopérative forestière du grand Ouest

8) CNIEFEB-ANEF : Compagnie nationale des ingénieurs et experts forestiers et des experts bois – Association normande des experts forestiers

Le projet EcoGéoDyn en Normandie bénéficie du soutien technique du LERFoB¹⁾, et financiers du CETEF Normandie Sud²⁾, des régions, et des DRAAF³⁾ normandes. Il a nécessité la mobilisation de plusieurs partenaires : IGN⁴⁾, IDF⁵⁾, ONF⁶⁾, COFOROUEST⁷⁾, CNIEFEB-ANEF⁸⁾, CETEF Normandie Sud, Lycée St Joseph de Mesnières-en-Bray.

Avec le soutien financier de :



Typologie des stations forestières et choix des essences en contexte de changements climatiques

Par Sylvain Gaudin, CNPF-CRPF Champagne-Ardenne, Florentin Madrolles CNPF-CRPF Normandie, Jean-Baptiste Richard CNPF-CRPF Champagne-Ardenne, Thomas Brusten CNPF-IDF

Le choix des essences dépend des conditions locales de la station, du sol, de la topographie et du climat. Les changements climatiques imposent désormais une révision des méthodes pour élaborer des guides de stations les prenant en compte.

Les catalogues et guides de stations sont des outils efficaces pour orienter la gestion forestière. Si une majeure partie d'entre eux a été construite par le passé en considérant le climat comme constant, les changements climatiques doivent désormais être intégrés pour favoriser les essences qui sont adaptées aux stations sous les conditions climatiques actuelles, mais aussi futures. Les méthodes pour intégrer les évolutions climatiques sont en plein développement, tout comme l'amélioration des connaissances sur l'autécologie des essences. Deux approches sont présentées dans cet article, le choix de l'une ou l'autre dépend des caractéristiques climatiques de la zone à couvrir.

Choix des essences : le changement climatique change la donne

L'implantation d'une essence dépend non seulement de paramètres locaux (géologie, topographie, exposition, profondeur et richesse chimique du sol...) mais aussi de données climatiques (figure 1). Ainsi, une station de versant sud à sol superficiel sur les plateaux calcaires du Nord-est de la France pourra héberger du hêtre, si elle se situe au nord de cette vaste zone, alors qu'au sud de cette sylvoécocorégion¹⁾, c'est le chêne pubescent qui se retrouvera naturellement présent dans les mêmes conditions, cela en raison d'un gradient climatique allant du nord-est au sud-est.

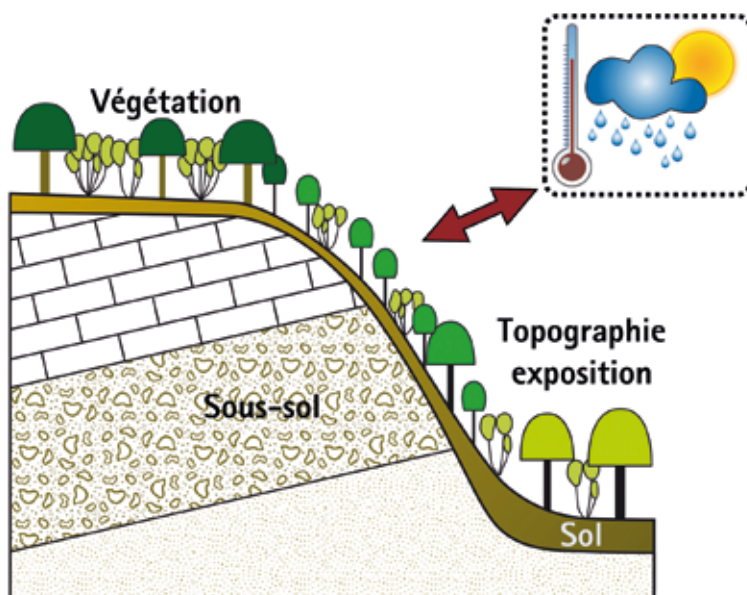
Jusqu'à une époque récente, les facteurs stationnels qu'ils soient pédologiques, floristiques, topographiques ou climatiques étaient considérés comme stables dans le temps, et les catalogues et guides de stations étaient construits sur ce postulat. Désormais,

il n'est plus possible de considérer le climat comme constant à l'échelle de la durée de croissance des essences forestières. Les températures sont en hausse et les précipitations risquent d'évoluer dans un sens défavorable à la végétation forestière en place, avec notamment des épisodes de sécheresse plus fréquents durant la période de croissance des arbres.

Ainsi, il est désormais important d'intégrer la dynamique du climat lors de l'élaboration de nouveaux documents de choix des essences et de mettre à jour les guides et catalogues existants, en révisant les listes d'essences proposées. En effet, les variations du climat vont avoir des effets importants sur la croissance, voire le dépérissement des arbres.

1) Sylvoécocorégion (SER) : l'Inventaire forestier national a défini 91 SER, en grande partie par regroupement des régions forestières nationales. Au sein de chaque SER, les facteurs déterminant la production forestière (climat, sol...) varient de façon homogène, entre des valeurs précises.

Figure 1 - Paramètres locaux et climatiques déterminant les stations.



Source : CRPF Champagne-Ardenne - CNPF

Une augmentation des problèmes sanitaires et des perturbations (canicules, tempêtes) est également attendue.

Comment tenir compte du changement climatique dans les guides pour le choix des essences ?

Cas des régions naturelles à climat peu variable

Lorsqu'un guide est construit à l'échelle d'une région naturelle de plaine, le climat y est en règle générale relativement homogène. Dans ce cas, une méthode a été proposée²⁾ pour intégrer les risques climatiques dans le choix des essences. Cette méthode repose sur l'analyse pour chaque unité stationnelle (US), de la fertilité liée aux conditions stationnelles locales (réserve en eau du sol, topographie, exposition...) et de celle liée au climat (répartition des précipitations durant l'année, températures...), grâce à un système de notes. Un risque climatique plus ou moins important est

défini en comparant la fertilité actuelle et son évolution possible en fonction du climat.

Par exemple, une station de plateau à sol superficiel et à faible réserve en eau qui a actuellement une très bonne fertilité en raison de bonnes précipitations estivales et d'une évapotranspiration relativement peu importante en période de végétation, présente un risque fort de baisse de ses potentialités si le climat se réchauffe et si les pluies estivales sont moins fréquentes. En effet, la faible réserve en eau du sol ne permettra pas de compenser le manque de précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration.

Les risques étant définis sur chaque US, la liste des essences adaptées actuellement est modifiée en tenant compte des exigences écologiques de chacune d'elles. Cette méthode a été mise en œuvre pour la réalisation du guide des stations d'Argonne³⁾. La figure 2 présente le tableau de choix des essences d'une des US de ce guide. Les pastilles de couleur, qui

2) Gaudin, 2008.

3) Perrier *et al.*, 2007.

Figure 2 - Exemple de choix des essences pour l'unité stationnelle 14 du guide de l'Argonne, édité par le CRPF.

 Essences observées actuellement Essences majoritaires - Frêne - Chêne pédonculé - Chêne sessile Essences disséminées - Aulne glutineux - Charme - Érable sycomore - Merisier - Tilleul à petites feuilles - Hêtre - Bouleau verruqueux - Érable champêtre - Tremble	 Gestion du peuplement Essences principales - Chêne pédonculé ● - Chêne sessile - Frêne ● Essences associées - Aulne glutineux ● p 81 - Charme ● - Érable plane ● - Érable sycomore ● - Merisier - Tilleul à petites feuilles Essences d'accompagnement - Alisier torminal - Bouleau verruqueux - Érable champêtre ● - Hêtre ● p 86 - Tremble ●	 Introductions possibles - Douglas ● p 90 - Épicéa ● p 90 - Mélèze ● p 91  Tentations à éviter Les essences sensibles aux ruptures d'alimentation en eau (peupliers...). Le chêne rouge, car le chêne sessile est mieux adapté sur ces stations et moins envahissant.
--	--	--

Les numéros de page renvoient à des recommandations particulières qu'il est impératif de consulter. Les points colorés signalent les essences à surveiller en fonction de l'évolution du climat.

Une mise en garde est faite pour le frêne et le chêne pédonculé, essences très sensibles à une rupture de l'alimentation en eau, qui pourraient ne plus trouver ici de bonnes conditions de croissance. Pour le hêtre et le douglas, le risque est lié non seulement à une diminution des précipitations estivales, mais aussi à celui de l'augmentation des pluies hivernales qui favoriseraient de manière importante les risques d'engorgement (ces essences craignant les sols engorgés).

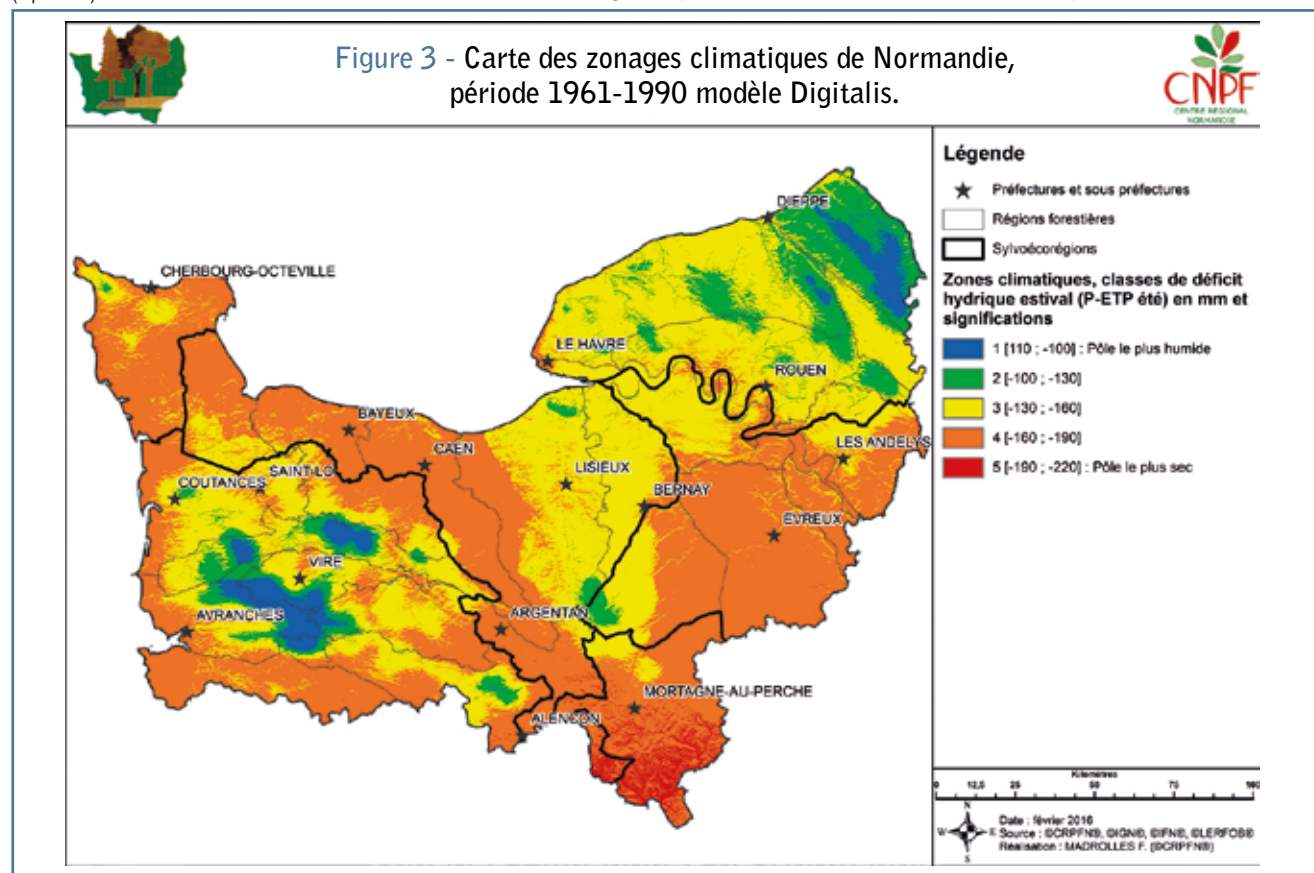
suivent certaines essences, visent à mettre en garde les praticiens par rapport aux risques climatiques. La pastille rose impose une vigilance et un suivi de l'essence considérée, car elle risque de ne plus être bien adaptée à la station à plus ou moins long terme. La pastille rouge met en garde contre un risque sérieux lié aux changements climatiques. Il peut s'agir d'essences, qui sont d'ores et déjà en limite d'utilisation sur la station considérée, ou qui présentent un fort risque de perte de croissance ou de dépérissement en raison de leurs besoins en eau importants. Chaque fois qu'une pastille est accolée à une essence, les raisons en sont indiquées en fin de guide. Ainsi, l'utilisateur connaît sans ambiguïté les arguments techniques du concepteur du guide et peut se positionner en connaissance de cause, en intégrant dans le futur les évolutions avérées du climat et les nouvelles connaissances sur l'écologie des essences, voire l'apparition de nouvelles provenances. Cette approche a été utilisée dans d'autres guides des stations publiés depuis⁴⁾ ou à paraître.

4) Terrier, 2014 ; Hubert, 2015 ; Plaine lorraine (à paraître).

F. Madrolles - CRPF Normandie © CNPF



Douglas dépérissant en raison d'une mauvaise adaptation à la station.



Cette carte distingue 5 zones climatiques selon les variations d'un indice climatique (P-ETP). Cet indice, caractérisant le niveau de sécheresse estival moyen, correspond à la différence entre les précipitations estivales moyennes (P) et l'évapotranspiration potentielle estivale moyenne (ETP). Ce zonage fait ressortir la structuration climatique des régions naturelles normandes. Le gradient climatique s'étend des secteurs les plus humides en bleu sur la carte (secteur de Vire (14-50-61), Petit Caux (76)), aux secteurs les plus secs en rouge (Perche normand). Cette carte est en cours de développement et il est prévu de l'actualiser en prenant en compte la période 1981-2010.

Figure 4 - Tableau de préconisation de choix des essences pour une unité stationnelle acide à faible réserve en eau en Normandie, en fonction des zonages climatiques.

Essences	Zone 1 : Pôle le plus humide	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5 : Pôle le plus sec	Commentaires
Essences résineuses						
Cèdre						
Douglas						
Épicéa commun						
Pin laricio de Corse						Problème des bandes rouges
Pin maritime						Risque de gelées tardives
Pin sylvestre						
Sapin pectiné						
Essences feuillues principales						
Châtaignier						Roulure sur ces sols pauvres
Chêne sessile						
Chêne pédonculé						
Chêne Pubescent						
Chêne rouge d'Amérique						
Hêtre						Accompagnement sur les podzols marqués
Essences feuillues secondaires en mélange						
Alisier torminal						
Bouleau verruqueux						
Bouleau Pubescent						
Cormier						

L'adéquation des essences à la station et au climat est indiquée par un gradient de couleur allant du vert foncé (essence très bien adaptée) au noir (essence à ne pas introduire). Sur une telle station, on remarque que lorsque le climat s'assèche, l'adaptation à la station de certaines essences comme le sapin pectiné et le hêtre est remise en question.

Cas des régions naturelles à climat variable

Lorsque le territoire de validité du document de choix des essences dépasse les limites d'une région naturelle ou que la variabilité climatique y est importante, il est nécessaire

de moduler le choix d'essences en fonction de ce facteur. En contexte méditerranéen ou montagnard, où la répartition des essences varie fortement pour de faibles variations altitudinales, cette étape peut être résolue en définissant une typologie de stations « emboîtée » selon des compartiments bioclimatiques



Échec d'une plantation de douglas pas adapté à la station.



Belle plantation de douglas adapté à la station.

(ou étages de végétation) d'abord et les facteurs stationnels locaux (dépendant du relief et du sol) ensuite. Des informations sur les caractéristiques de ces compartiments (altitude, exposition et végétation indicatrice), voire une cartographie de ceux-ci facilitent le diagnostic bioclimatique⁵. En contexte de plaines et collines, les variations climatiques sont plus ou moins fortes selon le territoire étudié, mais cette structuration altitudinale de la végétation forestière n'existe pas ou peu. Dans le cadre de la révision ou de la création d'un nouveau guide, il est tout aussi judicieux de réaliser une carte de zonages climatiques complémentaire. Par exemple, en Wallonie (Belgique), la révision du guide du boisement (outil régional de choix des essences) est fondée sur l'actualisation du découpage bioclimatique du territoire à l'aide de données climatiques récentes et selon les connaissances sur l'autécologie des essences⁶.

En Normandie, un guide régional de choix des essences, accompagné d'une carte des zonages climatiques (*figure 3 p. 51*), va être édité. La détermination de l'US et les préconisations de choix des essences s'effectuent en deux étapes : l'analyse des facteurs stationnels (hors climat), c'est-à-dire le sol, la topographie, la flore du sous-bois puis l'analyse climatique. Le choix d'établir cette carte selon les variations de P-ETP repose sur des études récentes ayant montré l'importance de ce paramètre dans l'évaluation du risque de dépérissement de plusieurs essences de production.

L'adaptation des essences à une station donnée est définie dans le guide en reportant la zone climatique retenue dans le tableau de préconisation de choix des essences de l'US concernée (*figure 4*). Ainsi, pour une essence donnée, dans des conditions stationnelles définies, son adaptation à la station varie en fonction de la zone climatique.

Le fonctionnement de ces outils complémentaires laisse une marge de manœuvre assez importante aux opérateurs de terrain selon leur sensibilité à la prise en compte des changements climatiques.

Pour une meilleure prise en compte des évolutions climatiques attendues, une série de cartes montrant l'évolution prévue des zonages climatiques est en développement. Elles s'appuient sur différents modèles climatiques à plusieurs intervalles de temps éloignés fournis par le portail Drias (*voir encadré*). Ainsi, en fonction du projet de l'opérateur et notamment de la date prévisionnelle de récolte, ce



Le portail Drias, les futurs du climat

<http://www.drias-climat.fr/>

Ce portail permet de centraliser différentes approches pour la prise en compte des climats futurs. On peut y visualiser différents modèles et scénarii de politique d'émission de CO₂ à plusieurs échelles temporelles. Ainsi pour chaque modèle et chaque scénario, 4 horizons temporels sont disponibles :

- la période de référence (1960-1990 ou 1971-1990),
- l'horizon proche (2021-2050),
- l'horizon à moyen terme (2041-2070),
- et l'horizon à long terme (2071-2100).

Pour aller plus loin : valoriser les études autécologiques

La proposition de préconisations sylvicoles objectives dans les documents de choix des essences doit s'appuyer sur les connaissances de l'autécologie des essences, permettant d'évaluer leurs comportements (croissance et vitalité) sur les différentes unités stationnelles :

- dans le passé, les études autécologiques ont surtout étudié **la relation entre les stations et la croissance des essences**¹. La prévision de la croissance future des essences n'est pas aisée, car elle dépend de multiples paramètres du sol et du climat. Les études sont souvent lacunaires et couvrent rarement l'ensemble de l'aire de répartition d'une essence donnée en France.
- parallèlement, plusieurs études² ont déjà montré l'impact de la répétition des années à fort déficit hydrique sur la vitalité des essences. Sous l'influence des changements climatiques, les bioclimats vont progressivement se modifier. Les essences risquent de voir leur aire de répartition s'étendre (climat plus favorable) ou au contraire régresser (climat moins favorable).

1) Becker et Le Goff, 1988

2) L'outil BioClimSol, développé par le CNPF, s'inscrit dans cette volonté de quantifier le risque de dépérissement des essences en fonction de données climatiques et stationnelles, Forêt-entreprise n° 218.

5) Ladier, 2004 ; Gégout *et al.*, 2008

6) Van der Perre *et al.*, 2015

dernier pourra voir le niveau d'adéquation « théorique » de l'essence à la station pour les différents scénarii d'émission de gaz à effet de serre et par conséquent quantifier les risques liés aux changements climatiques.

Prenons l'exemple d'un propriétaire ayant un projet de reboisement en douglas sur une parcelle située dans la zone climatique 1 en contexte stationnel caractérisé par un sol acide à faible réserve en eau (*figure 4 p. 52*). Il prévoit de récolter ses arbres dans 45 ans et il est assez sensible aux évolutions climatiques (il veut minimiser les risques). Actuellement, le douglas est situé dans des conditions stationnelles optimales. Dans 45 ans (soit en 2060), en utilisant un scénario moyennement pessimiste d'émission de gaz à effet de serre, la parcelle se situe maintenant en zone climatique 3, où cette essence est toujours bien adaptée. Le propriétaire peut donc sans prendre trop de risques se lancer dans son reboisement. Ce propriétaire hésitait aussi à planter une partie de la parcelle en épicéa commun. En réalisant la même démarche que pour le douglas, il s'aperçoit que les risques futurs pour les épicéas sont très importants. De ce fait, il ne poursuivra pas sur cette voie.

Cet outil décisionnel est en cours de développement en Normandie. Il offre à l'opérateur la possibilité de prendre une décision s'appuyant sur de multiples facteurs pour minimiser les risques sans toutefois les éliminer. Il aura intégré dans sa prise de décision des facteurs stationnels (et sylvicoles) prédisposant ou déclenchant la baisse de fertilité et de croissance, voire la mortalité du peuplement.

Conclusion

Les guides pour le choix des essences sont des outils éprouvés et pratiques pour les gestionnaires forestiers. Traditionnellement,

les typologies de stations ont été construites « à climat constant ». Cependant, les changements climatiques modifient progressivement les caractéristiques des stations (climat et bilan hydrique). Ces modifications auront pour conséquence une variation temporelle de l'adéquation des essences de production aux unités stationnelles actuellement définies.

L'enjeu consiste donc à proposer, dans les typologies, des essences adaptées au climat actuel mais aussi à ses variations futures.

Dans ce sens, l'apport des cartes numériques pour caractériser sur de vastes territoires la contrainte hydrique et son impact pour le choix des essences est une piste très intéressante⁹⁾. Quand la zone de validité d'un guide présente un climat peu variable (zone de plaine à climat homogène), une indication dans les tableaux de choix des essences est suffisante pour fournir des informations pertinentes sur les risques encourus par les essences. En revanche, quand les guides sont réalisés sur des territoires à climat spatialement variable, un zonage climatique est indispensable pour affiner les préconisations sylvicoles dans chaque station. Jusqu'à récemment, le choix des essences par US reposait sur des études autécologiques liant principalement les caractéristiques du milieu à la croissance des essences. Avec le changement climatique et en particulier l'augmentation attendue de la récurrence des sécheresses estivales, ce potentiel de production des stations se modifie, mais surtout se voit entaché d'un risque de dépérissement, dont l'intensité varie selon les essences. La prise en compte des études sur l'avenir des essences (production et vitalité) est une nécessité. Ces connaissances sont précieuses mais cependant souvent partielles et théoriques. L'informatisation des documents d'aide au choix des essences pourrait alors permettre de proposer des outils décisionnels facilement révisables en fonction de l'évolution continue des prévisions climatiques et des connaissances autécologiques¹⁰⁾. ■

9) Richard *et al.*, 2013

10) Michelot *et al.*, 2013

À retenir

La prise en compte du changement climatique dans les guides de stations est une nécessité. Lorsque la variabilité climatique est faible à l'échelle de la zone de validité du guide, une gradation de pastilles dans les tableaux de choix des essences définit les risques pour chaque couple « essence-station ». Un zonage bioclimatique du territoire est parfois indispensable pour structurer la typologie. Les conseils de choix des essences doivent reposer sur les évolutions prévues du climat mais aussi et surtout, sur des données autécologiques caractérisant la répartition, la vulnérabilité et la production des essences face au changement climatique.

Les études de stations forestières : l'implication d'un CETEF

par Antoine Pelissie du Rausas, ingénieur agronome, président du CETEF Garonnais de 1980 à 1995

Pour répondre aux besoins des sylviculteurs et faciliter le diagnostic pré-plantation, le CETEF garonnais a mené des études de stations forestières en Haute-Garonne et Tarn-et-Garonne. L'édition d'un guide pratique fut associée à des formations sur le terrain.

Durant ma présidence du CETEF Garonnais dans les années 1980-1995, nous avons cherché à répondre aux interrogations de nos adhérents face aux problèmes de plantations forestières. Nombre d'agriculteurs ont manifesté vers 1985 leur intérêt pour la conversion de terres agricoles en terres forestières, encouragée par la politique agricole européenne, qui visait par ce moyen à réduire la surproduction agricole récurrente.

Un besoin des adhérents

Nous avons constaté que des plantations avaient été réalisées en terres agricoles sans prise en compte suffisante de l'écologie forestière. Or, les teneurs en argile, les épaisseurs de sol, le pH, etc., favorables ou tout au moins acceptables pour une culture agricole, ne le sont pas toujours pour une essence forestière donnée : une bonne terre céréalière n'est pas forcément une bonne terre forestière. Ce qui est évident aujourd'hui en matière d'étude stationnelle, ne l'était pas toujours à l'époque : ainsi avons-nous reçu des avis divergents, pour ne pas dire contradictoires, sur des projets précis. Et aujourd'hui, on peut voir des plantations de 20 à 30 ans de noyers communs ou de merisiers qui évoluent peu ou déperissent, car situées sur des sols ne leur convenant pas bien.

Éviter les échecs de plantation

Par ailleurs, cette époque est marquée par la volonté d'améliorer les taillis existants au travers de plantations d'enrichissement en feuillus précieux, avec la contribution de différents financeurs publics. La variabilité des conditions de milieu dans la région toulousaine obligeait alors à s'interroger sur les essences les mieux appropriées pour éviter les échecs de plantation.

Face à ce besoin d'un guide de terrain suffisamment précis, le CETEF Garonnais a demandé en 1987 aux services forestiers de l'État, la mise en route d'un programme d'études pour orienter le choix des essences forestières en fonction des stations. Un budget pluriannuel, conséquent pour un CETEF, a permis de recruter un jeune ingénieur forestier, aujourd'hui plus connu à l'IDF en matière de biodiversité : Pierre Gonin.



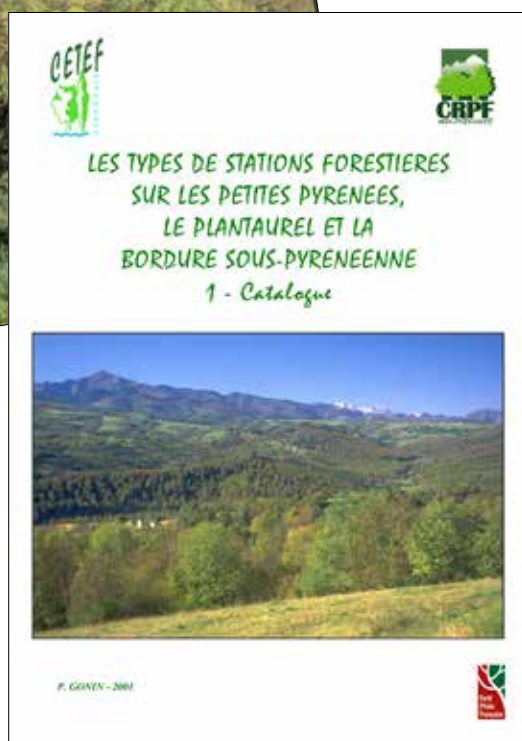
Pour l'étude des stations

Après une pré-étude en 1988, destinée à faire le point des connaissances locales en écologie forestière, les travaux d'analyse des stations ont débuté sur le vaste territoire des coteaux molassiques et des vallées de Midi-Pyrénées situé à l'est de la Garonne. Une typologie des stations fut établie à la suite d'une phase de terrain de 450 relevés en forêt et 160 relevés hors forêt. Sa particularité était de concerner

Formation à l'étude des stations : exemple de la mesure du pH du sol.



Retrouvez la bibliographie complète du dossier sur notre site www.foretpriveefrancaise.com/publications/voir/590/n:541



Guide et catalogue de stations d'une même région.



Apprenez à reconnaître les stations grâce aux formations FOGFOR de votre région.

Pour en savoir plus :

<http://www.foretpriveefrancaise.com/formation/>

aussi bien les terres forestières qu'agricoles, avec pour ces dernières, une clé d'identification basée sur une approche morpho-pédologique, sans utilisation de la flore.

Des formations adaptées

Afin de faciliter l'utilisation du catalogue des stations ainsi constitué – document de 350 pages – un guide pratique a été établi avec la volonté de simplifier la description des stations, sans descendre en dessous d'une précision minimale afin d'établir un diagnostic pertinent. Ces deux documents complémentaires ont été vulgarisés au travers de plusieurs sessions de formation, aussi bien pour les professionnels que pour les propriétaires. Enfin, la démarche a été complétée en 1994 par l'étude des relations entre stations et croissance des plantations sur cinq essences suffisamment représentées dans la zone d'étude.

Une typologie des stations populicoles par une approche morpho-pédologique et un catalogue des stations sur la Bordure sous-pyrénéenne, qui a la particularité d'établir un lien entre types de stations et habitats, ont également été réalisés par le CETEF Garonnais.

Un outil toujours actuel

L'intérêt primordial de ces catalogues de stations est d'orienter les choix techniques en fonction des données pédologiques, topographiques et climatiques. Cela s'avère essentiel pour éviter les erreurs et optimiser l'investissement forestier et, aujourd'hui encore plus qu'hier, en raison des risques climatiques nouveaux. Récemment un ingénieur forestier, responsable de programmes de plantations, nous a confirmé que ces catalogues étaient toujours consultés par son service, ce qui n'a pas manqué de nous faire plaisir !

Il ressort de notre expérience un autre intérêt des plus importants : l'outil pédagogique que ces catalogues représentent. En effet, ils constituent la pierre d'angle de réunions de terrain avec tous ceux qui sont concernés par la forêt : agriculteurs, propriétaires forestiers, professionnels de la forêt privée et publique. En témoigne le nombre important des personnes présentes à ces réunions pendant notre présidence du CETEF Garonnais et ainsi sensibilisées et formées à la prise en compte des stations forestières. ■

Plantation d'essences feuillues dans le massif des Landes de Gascogne : diversifier et produire ?

Par Frédéric Bernier, Jean-Luc Denou*, Céline Meredieu**, Inra

Il y a une vingtaine d'années, plusieurs essences feuillues (bouleau, robinier, cerisier tardif et trois espèces de chênes) ont été plantées dans différentes parcelles du massif des Landes de Gascogne avec un objectif de création d'îlots de biodiversité. Une première évaluation de leur croissance permet d'ores et déjà de donner quelques conseils aux sylviculteurs sur les choix à faire ou à ne pas faire en termes d'introduction de ces espèces.

La forêt des Landes de Gascogne, comme un nombre croissant de forêts de production dans le monde, fonde l'essentiel de son économie sur des boisements mono-spécifiques. Du fait de cette forte dépendance à une seule essence, l'émergence et le développement de maladies et ravageurs suscitent beaucoup d'inquiétudes. Parallèlement le changement climatique fait craindre aux forestiers un accroissement des problèmes sanitaires sur des arbres affaiblis par des stress hydriques. Certains insectes et champignons pathogènes pourraient en effet bénéficier directement d'un accroissement des températures alors que les peuplements souffriraient davantage des stress hydriques ou de cataclysmes météorologiques.

Or, depuis longtemps les forestiers considèrent que les forêts mélangées seraient moins exposées aux risques sanitaires que les forêts composées d'une essence forestière dominante, que sont la plupart des plantations. C'est dans le cadre de ces recherches que le réseau de parcelles *Islandes* a été mis en place en 1993 financé par le Gip Ecofor. Il avait pour but l'évaluation de la méthode des îlots de feuillus en mélange pour restaurer la biodiversité au sein de la forêt cultivée des Landes de Gascogne afin d'améliorer sa résistance aux insectes ravageurs et champignons pathogènes. La reconstitution du massif forestier des Landes de Gascogne suite à la tempête Klaus de 2009 met en avant des actions en faveur de la biodiversité ordinaire. Outre les travaux de maintien des peuplements feuillus existants, la

plantation d'essences feuillues en plein ou en enrichissement fait partie des méthodes préconisées pour restaurer la biodiversité. Pour conseiller le sylviculteur souhaitant mettre en place ces nouvelles formations feuillues, des inventaires d'espèces plantées ont été réalisés, il y a quelques années, afin d'établir un bilan de leur croissance (*projet Climaq¹⁾*). C'est dans ce cadre que les parcelles du réseau *Islandes* ont été mesurées.

Présentation des dispositifs d'étude

Les espèces plantées

En 1993, six espèces feuillues présentes dans le massif ont été sélectionnées, car susceptibles de s'adapter au sol et au climat du massif des Landes de Gascogne (*Tableau 1*, p. 58). Pour chaque espèce, trois origines différentes ont été retenues. Les graines ont été récoltées par l'expérimentateur dans des peuplements sélectionnés. Les mises en cultures ont été faites à la pépinière de l'Inra à Pierroton, sauf pour le cerisier tardif, le bouleau et le pin maritime qui ont été élevés par des pépinières privées (Bauchery, Clémendot, Planfor et Naudet).

L'implantation des sites d'études

Le réseau *Islandes* est constitué de deux dispositifs installés dans le département des Landes (40), le premier en forêt communale de Biscarosse et le second sur un domaine géré par la Compagnie des Landes à Pontenx-les-Forges (*figure 1*).

* Inra, UE0570 Forêt Pierroton

** Inra, UMR1202 Biogeco

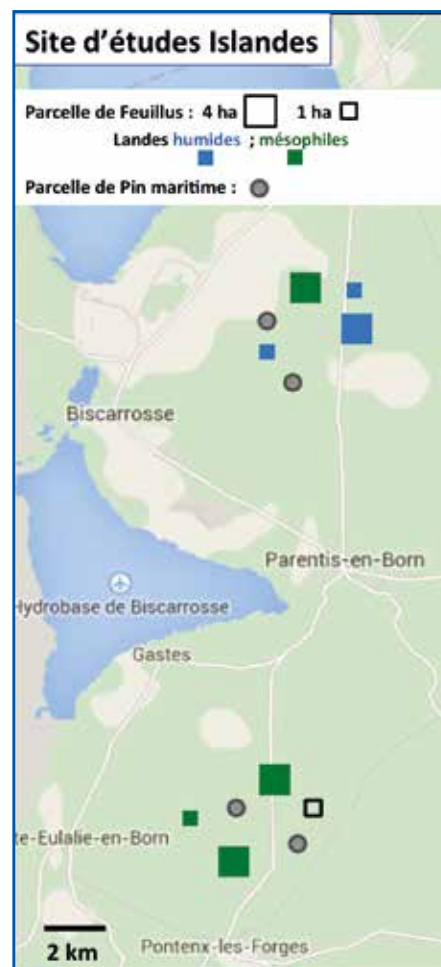
Inra, Site de recherche Forêt Bois, 69 route d'Arcachon, F-33610 Cestas

1) Le projet CLIMAQ intitulé *Les forêts d'Aquitaine et le réchauffement climatique : un programme expérimental pour préparer l'avenir* a été réalisé avec le soutien de la région Aquitaine.

Tableau 1 - Liste des espèces et origines

Espèce	Nom de code	Origine	Type de plant (âge)
Chêne pédonculé <i>Quercus robur</i>	QRO	Gironde (33) Cestas	Racines nues (1+1)
		Landes (40) Bias	Racines nues (1+1)
		Cher (18) F.D. Vouzeron	Racines nues (1+1)
Chêne rouge <i>Quercus rubra</i>	QRU	Hautes Pyrénées(65) Vic en Bigorre	Racines nues (1+1)
		Gers (32) F.D. Bacquieu	Racines nues (1+1)
		Cher (18) F.D. Vouzeron	Racines nues (1+1)
Chêne tauzin <i>Quercus pyrenaica</i>	QPY	Gironde (33) Cestas	Racine nues (1+1)
		Loir et Cher (41) Sologne	Racines nues (1+1)
		Gironde (33) Cabanac	Racines nues (1+1)
Cerisier tardif <i>Prunus serotina</i>	PSE	Pologne	Racines nues (1+0)
		Landes (40) Pontenx les Forges	Plant godet (1+0)
		Grande Bretagne	Racines nues (1+0)
Robinier <i>Robinia pseudoacacia</i>	RPS	Loir et Cher (41) Sologne	Racines nues (1+1)
		Gironde (33) Illats	Racines nues (1+1)
		Roumanie (altitude 130 m)	Racines nues (1+1)
Bouleau verruqueux <i>Betula pendula</i>	BPE	Écosse	Racines nues (1+0)
		Corrèze (19)	Racines nues (1+0)
		Haute Loire (43) (altitude 800 m)	Racines nues (1+0)
Pin maritime <i>Pinus pinaster</i>	PPI	Variété améliorée Vigueur Forme 1 (VF1)	Plant en motte (1+0)

Figure 1 - Implantation des deux dispositifs

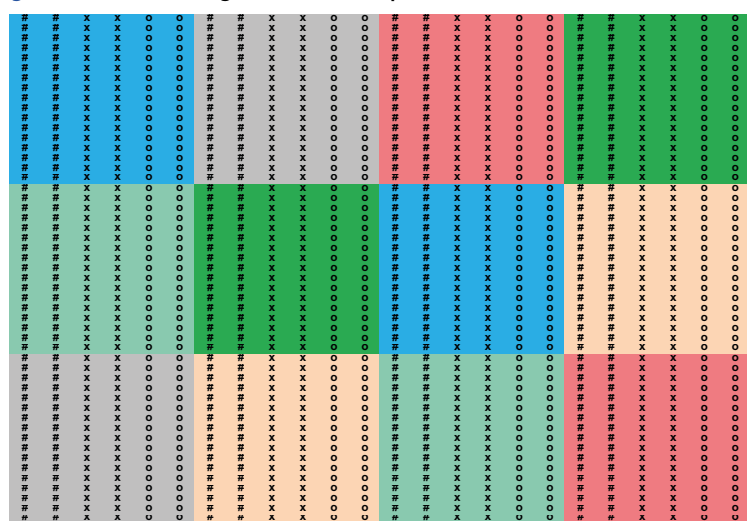


Chacun des dispositifs est composé de deux parcelles de feuillus de 4 ha, de deux parcelles de feuillus de 1 ha, et de deux parcelles de pin maritime (4 et 1 ha). Chaque parcelle est composée de 12 placettes, chacune des 6 espèces de feuillu étant répétée deux fois. Pour les parcelles de 4 ha, chaque placette est constituée de 12 lignes de 35 arbres, chaque origine est répétée sur quatre lignes consécutives. Pour les parcelles de 1 ha (figure 2), chaque placette est composée de 6 lignes de 17 arbres, chaque origine est présente sur 2 lignes consécutives. La densité de plantation est de 1 250 tiges par hectare, soit un espacement de 2 mètres sur la ligne et de 4 mètres entre les lignes (voir encadré p. 59).

Les mesures et observations réalisées sur les feuillus

Fin 2007, un premier inventaire complet de chaque parcelle feuillue est réalisé. Pour chaque arbre, on note son statut (vivant, dépérissant, penché ou cassé, mort). Fin 2012, une évaluation dendrométrique des parcelles est réalisée : statut, forme (arbre avec un seul tronc, arbre à troncs multiples ayant une apparence de cépée), descente de

Figure 2 - Schéma général d'une parcelle de feuillus d'un hectare



Cerisier Tardif Robinier o Origine 1
 Bouleau Chêne Rouge x Origine 2
 Chêne Tauzin Chêne Pédonculé # Origine 3

Chacune des 6 espèces est installée dans deux placettes et chaque placette contient deux rangées d'arbres par origine (voir Tableau 1)

Tableau 2 - Pourcentage de mortalité par type de landes, par espèce et par origine* en 2012 (17-18 ans).

		Origine	Landes humides en %	Landes mésophiles en %
Chêne tauzin	QPY	Toutes origines	14*	24*
Chêne pédonculé	QRO	Toutes origines	23*	12*
Chêne rouge	QRU	Toutes origines	49*	17*
Robinier	RPS	RPS41 + RPS33	77*	36*
		RPS-Roumanie		61
Bouleau	BPE	BPE- Écosse	53	41
		BPE43	38	15
		BPE19	15	9
Cerisier tardif	PSE	Toutes origines	43*	7*

* pas de différence significative de mortalité entre les origines.

cime (pour les deux chênes), circonférence à 1,30 m et hauteur totale. Ces mesures et observations sont réalisées sur un échantillon d'individus dont l'effectif tient compte de la variable mesurée et de la taille des parcelles.

- 50 % des arbres sont notés pour le statut et la forme, et mesurés en circonférence sur les parcelles de 1 ha et 25 % sur les parcelles de 4 ha (hors des lignes de bordure des placettes).

- 20 % des arbres évalués en circonférence sont mesurés en hauteur quelle que soit la taille des parcelles.

gère aigle et la molinie. À partir de ces inventaires floristiques, les différentes parcelles ont été classées dans les 3 types de landes caractéristiques du massif landais : landes humides (dominance de molinie et ajonc nain), mésophiles (dominance de fougère aigle) ou sèches (dominance de callune et bruyère cendrée). La forte hétérogénéité floristique d'une des parcelles de 1 ha ne nous a pas permis d'affecter un type de landes. Elle n'a donc pas été présentée dans l'analyse. Parmi les 7 autres parcelles, 3 se situent en landes humides (6 ha) et 4 en landes mésophiles (13 ha) (*figure 1*).

La description stationnelle

Une description stationnelle succincte des parcelles a été réalisée avant l'implantation des dispositifs. D'un point de vu pédologique, l'ensemble des parcelles est installé sur des podzols issus du sable landais et pour lesquels les variations du niveau de la nappe peuvent être différentes. Cette description a été complétée au printemps 2012 par un inventaire floristique précis en évaluant le pourcentage de recouvrement au sol des différentes espèces indicatrices du type de landes. Les espèces notées étaient les ajoncs, les éricacées, la fou-

Les principaux résultats

La mortalité

En préambule de cette analyse, il convient de préciser ce que l'on entend par mortalité dans le cas de cette étude. Après 17 ou 18 années de végétation, la mortalité peut avoir différentes causes : crise de transplantation, défauts d'entretien, canicule de 2003, sécheresse de 2005, tempêtes de 1999 et 2009 mais aussi différents facteurs biotiques (maladie, insectes) voire des conditions stationnelles inadaptées aux espèces testées. Par contre, l'engrillagement exclut la mortalité due au gibier.

Les travaux préparatoires, plantation et entretiens

L'itinéraire technique des travaux est semblable sur les deux dispositifs. L'exploitation du peuplement de pin maritime précédent a été réalisée l'hiver n-2. Un traitement herbicide au glyphosate a été appliqué sur les parcelles à planter en feuillus. À l'automne, elles ont d'abord été fertilisées (super phosphate 80u/ha) et labourées en plein (en bandes pour les parcelles de pin maritime), puis le labour a été repris au covercrop ou au rouleau landais. Par ailleurs, les parcelles ont été entourées de grillage. À Biscarrosse, les plantations des parcelles de feuillus ont eu lieu de novembre à décembre 1994 et les parcelles de pin maritime au début du printemps 1995. À Pontenx-les-Forges, les parcelles de feuillus ont été plantées de novembre 1995 à février 1996 et les parcelles de pin maritime au printemps 1996. Un dégagement des parcelles a été réalisé 2 ans après la plantation. De l'engrais complet (NPK) a été apporté de façon localisée dans les placettes des chênes pédonculés et tauzins au printemps 2000. Un débroussaillage au rouleau landais a été réalisé en 2007.

Figure 3 - Diamètre moyen et écart-type par espèce et type de landes pour les origines dont la mortalité est < 40 % (diamètre du plus gros brin mesuré ; nombre moyen d'arbres mesurés par espèce : 334 en landes humides, 765 en landes mésophiles)

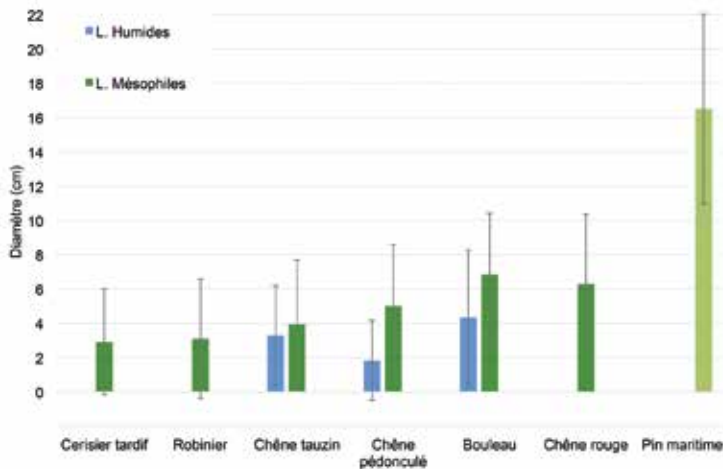
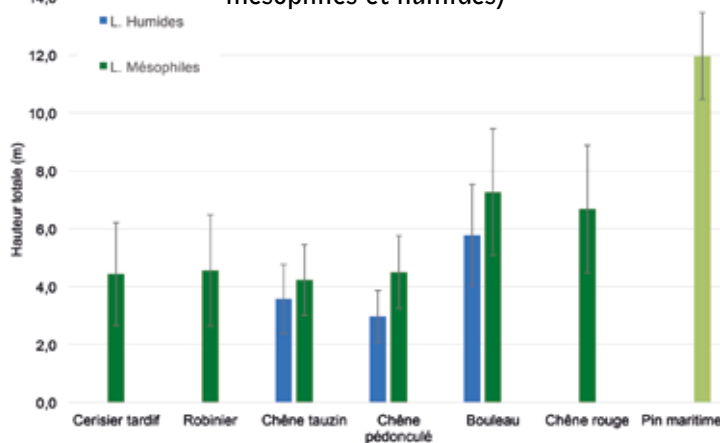


Figure 4 - Hauteur totale moyenne par espèces pour les origines dont la mortalité est < 40% (nombre d'arbres mesurés par espèce : 100 en moyenne pour les landes mésophiles et humides)



En landes humides, les taux de mortalité sont globalement élevés (40 %) où seul le chêne tauzin se situe en dessous de 15 %. Le robinier (77 %), le chêne rouge (49 %), le cerisier tardif (43 %) ainsi que l'origine écossaise du bouleau (53 %) éprouvent de réelles difficultés à s'installer durablement dans ce type de station. Dans les landes mésophiles, la mortalité est, globalement, nettement inférieure (14 %) pour l'ensemble des espèces, excepté pour le chêne tauzin (24 %). Les conditions restent défavorables au robinier (de 36 à 60 % de mortalité).

L'origine roumaine du robinier a quasiment disparu des parcelles. À un degré moindre, l'origine écossaise du bouleau est dans le même cas. Pour le bouleau, les origines ont des comportements significativement différents et l'on peut regretter de ne pas avoir testé des origines plus locales.

Par ailleurs, on n'observe globalement pas d'évolution de la mortalité entre 2007 et 2012 excepté pour le robinier en landes humides (entre 5 à 10 % de mortalité en plus).

Pour mettre en perspective ces résultats, il est possible de les comparer avec d'autres observations. Tout d'abord, la mortalité observée sur un dispositif biodiversité en landes mésophiles après 5 années de végétation est de 3 % pour le bouleau (origine Sud-ouest), 8 % pour le chêne tauzin et 5 % pour le chêne pédonculé. Elle est donc globalement plus faible mais ces plantations sont plus jeunes et la mortalité continue d'évoluer. Les taux de mortalité relevés au niveau national par le Département de la santé des forêts (comptage de mortalité après une saison de végétation dans 338 plantations sur la période 2007 – 2014) sont également faibles pour les chênes rouges et pédonculés, qui présentent respectivement une médiane égale à 5 % pour le chêne rouge et 3 % pour le pédonculé. Cette médiane de mortalité est égale à 9,5 % pour le robinier, espèce présentant des taux plus élevés sur plusieurs années. Pour les stations des Landes de Gascogne, l'évaluation de la réussite d'un boisement feuillu doit être réalisée avec du recul (10 à 12 ans après le reboisement) compte tenu des contraintes abiotiques particulièrement fortes.

La croissance

En préambule, il est important de souligner plusieurs points. La différence d'âge entre les parcelles de Pontenx-les-Forges et de Biscarosse ne se retrouve pas dans les résultats dendrométriques. Dans ces parcelles, l'effet stationnel est plus important que l'effet de l'âge. Ainsi, les comparaisons de moyennes ont été faites en combinant les placettes par type de landes. Comme nous l'avons vu précédemment, il existe une forte mortalité pour certaines espèces sur certains types de landes : le nombre d'arbres vivants mesurés peut être extrêmement faible pour quelques combinaisons, par exemple le robinier sur les landes humides. Les espèces ou origines, dont la mortalité est supérieure à 40 %, sont exclues des graphiques présentés ci-dessous (*figure 3* ; *figure 4*). En landes humides, le bouleau est l'espèce présentant la meilleure croissance avec un diamètre moyen de 4,4 cm et une hauteur de 5,8 m devant le chêne tauzin (3,3 cm et 3,6 m) et le chêne pédonculé (1,8 cm et 3 m).

Figure 5 - Les différentes espèces en landes mésophiles

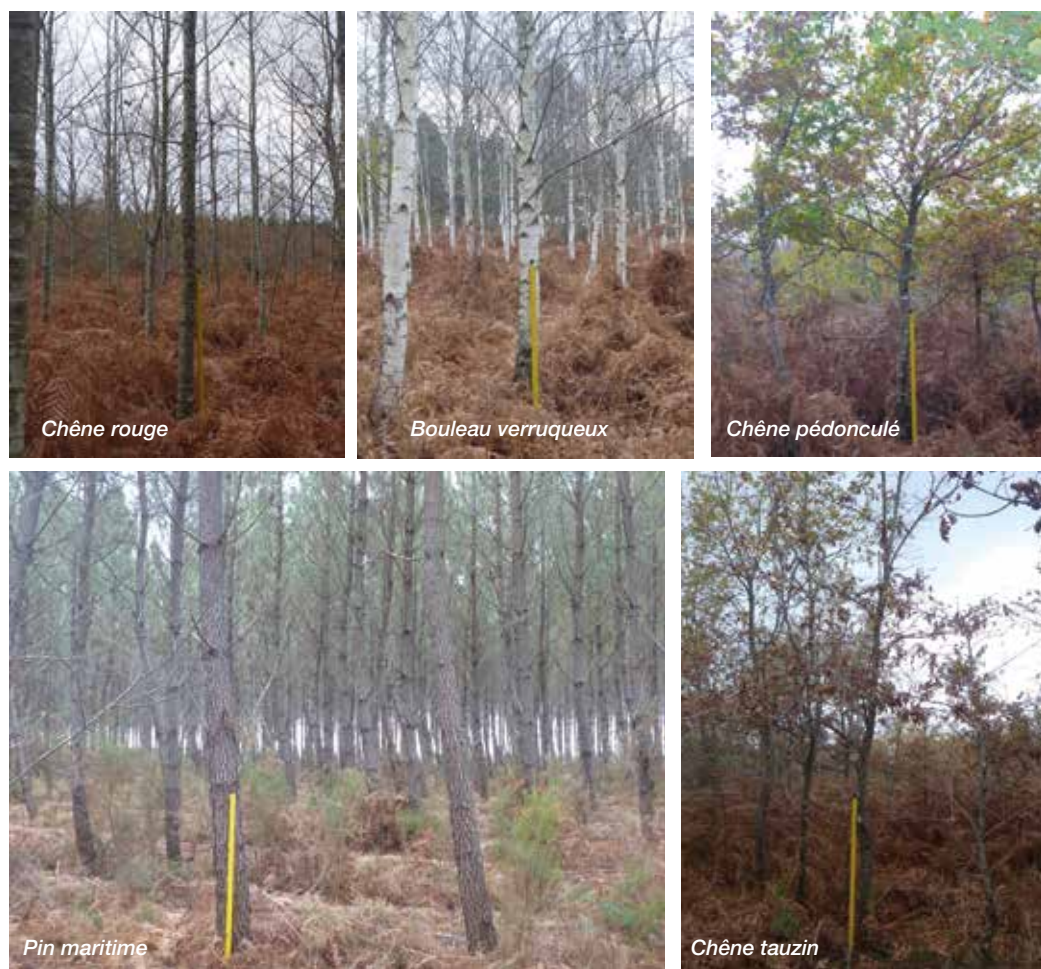


Figure 6 - Forme juvénile médiocre pour le cerisier tardif.

En landes mésophiles, le bouleau (*figure 5*) et le chêne rouge ont des croissances semblables avec un diamètre compris entre 6 et 7 cm et une hauteur proche de 7 m, clairement supérieures aux autres espèces. Ces dernières ont une hauteur très semblable proche de 4,4 m, mais différent de par leur diamètre très faible pour le robinier et le cerisier tardif (proche de 3 cm), mais plus important pour le chêne tauzin (4 cm) et le chêne pédonculé (5 cm). Quelle que soit l'espèce, les conditions de croissance sont nettement plus favorables en landes mésophiles. Concernant les aspects de forme forestière des arbres (présence de tiges multiples), seul le cerisier tardif (*figure 6*) connaît des problèmes sévères avec 38 % d'arbres présentant des fourches multiples ou un port en cépée, phénomène accentué en landes mésophiles. La moyenne des problèmes de forme des autres espèces est d'environ 6 % ce qui reste acceptable. Des observations de perte de dominance apicale parmi les chênes dans les parcelles de landes mésophiles montrent que les chênes pédonculés sont beaucoup plus sensibles (13 %) que les chênes tauzins (5 %).

Conclusions

Au vu des résultats de mortalité et de croissance obtenus dans les différents sites, il nous est possible de fournir certains conseils aux reboiseurs désireux de planter des espèces feuillues dans le **massif des Landes de Gascogne**. Les conditions de plantation en **landes humides** sont les plus difficiles, il faudra principalement s'en tenir au bouleau. Pour diversifier, les chênes tauzin et pédonculé peuvent être plantés. Mais leur croissance sera nettement plus faible avec un aspect végétatif parfois médiocre, et ce quelle que soit l'espèce. En **landes mésophiles**, deux espèces, le bouleau et le chêne rouge, sont clairement à privilégier car nettement plus performantes en termes de croissance. Cette station semble également offrir des possibilités de diversification avec les chênes pédonculés et tauzins. Néanmoins, nous souhaitons souligner deux points. D'une part, la reprise difficile du chêne tauzin peut s'expliquer par des difficultés à supporter la compétition pour la lumière engendrée par la fougère parfois très dense les premières années. Il faut donc certainement plus de vigilance pour les dégagements. D'autre part, malgré des croissances semblables, se cachent deux réalités différentes. En effet, les observations de descente de cime montrent de manière significative que le chêne pédonculé est nettement plus affecté par ce phénomène que le chêne tauzin. Par ailleurs, l'évolution du climat nous incite plutôt à privilégier le chêne tauzin. Nous déconseillons à la fois la plantation de cerisier tardif pour sa mauvaise forme forestière, et comme Merzeau (2014), la plantation de robinier dans les stations au cœur du massif landais dont la reprise compliquée, s'accompagne assez tôt d'une stagnation de la croissance voire de dépérissement. Même si l'on peut regretter pour cette étude de ne pas avoir choisi des provenances produites en pépinière, mais des sites de récolte de graines variés pour contrôler plus strictement les origines, le résultat en termes d'échec est probant pour certaines d'entre elles, notamment les plus éloignées (bouleau d'Écosse). Nous ne ferons donc que rappeler **l'importance du choix de la provenance conseillée par les pépiniéristes**. Sans avoir testé tous ces facteurs lors de cette étude, il nous semble important d'insister sur quelques recommandations déjà connues par les reboiseurs. Un travail du sol soigné (labour et émiettage) accompagné d'une fertilisation en phosphore et d'une protection des plants contre les cervidés sont des gages d'une plantation réussie. Le suivi, lors des premières

années de croissance, est beaucoup plus exigeant que pour une plantation de pins, en particulier pour les entretiens.

Espèces feuillues de production ? Sans répondre définitivement à cette question, il nous est possible de comparer les espèces feuillues les plus productives dans notre étude, en l'occurrence le bouleau et le chêne rouge en landes mésophiles avec la croissance moyenne du pin maritime des différents sites. Le pin maritime avec un taux de mortalité inférieur à 10 %, un diamètre moyen de 16 cm et une hauteur moyenne de 12 m présente une croissance deux fois supérieure sur le diamètre, et de 40 % supérieure sur la hauteur. Les résultats, 18 ans après plantation, sont sans équivoque. Compte tenu de ce différentiel de croissance, il est important pour un sylviculteur souhaitant planter des feuillus dans les Landes de Gascogne de bien définir ses objectifs ainsi que sa stratégie. En effet, peu productives comparées au pin maritime, ces espèces restent néanmoins une alternative crédible et peuvent contribuer à une meilleure diversification biologique à conditions qu'elles ne soient pas plantées en mélange pied à pied avec le pin maritime mais introduites sous forme d'îlots ou de lisières. Comme démontré dans cette étude, le choix d'une ou plusieurs essences cibles devra être adapté aux stations. Compte tenu des objectifs mentionnés ci-dessus, nous espérons que d'autres espèces, autochtones comme exotiques, viendront offrir de nouvelles possibilités pour diversifier ces stations forestières du massif landais. Dans quelques années, nous pourrions tirer de nouveaux enseignements pour une trentaine d'espèces (60 provenances) installées dans de nouveaux arboretums depuis 2012. Pour conclure, la régénération par plantation dans certaines situations écologiques est une étape déterminante pour augmenter la diversité des peuplements et massifs forestiers futurs, et elle peut permettre d'améliorer leur capacité générale d'adaptation aux changements environnementaux. ■

Résumé

Compte tenu des conditions stationnelles présentes dans le massif landais, la plantation d'espèces feuillues est parfois synonyme d'échec. Cet article fournit des conseils aux reboiseurs pour le choix des espèces et de leur origine en s'appuyant sur un dispositif d'études d'une vingtaine d'années.

Mots-clés : Massif des Landes de Gascogne ; espèces feuillues ; plantation ; mortalité ; croissance.

Remerciements

- à Hervé Jactel (Inra, UMR Biogeco) responsable du projet Islandes ;
- à Louis Riols, stagiaire BTS Gestion Forestière en 2012 ;
- à T. Belouard et J.-L. Flot du Département de la santé des forêts (DSF) ;
- à la Compagnie des Landes et à la commune de Biscarosse, propriétaires des sites d'études ;
- à l'Unité expérimentale Forêt Pierroton, gestionnaire du dispositif expérimental.

Bibliographie

- Canteloup D., Castro A., 2012. *Situation sanitaire et reconstitution*. In : Les Cahiers de la reconstitution n°2. GIS GPMF, Mai 2012, 12 p.
- Canteloup D., Castro A., 2012. *Application pratique de la clause de diversification dans la reconstitution d'après tempête Klaus*. Ed. ONF CRPF, 12 p.
- Boissesson de J.M., 2015. *Quelques réussites d'espèces forestières introduites en Aquitaine*. FCBA Info, Mars 2015, 5p.
- Merzeau D., 2014. *Quelles alternatives au pin maritime*. In : Les Cahiers de la reconstitution : Matériel végétal de reboisement n° 4. GIS GPMF, Juin 2014, pp. 17-19.



La préservation des sols forestiers au cœur de PEFC

Point de vue de Stéphane Marquesi, secrétaire général de PEFC¹⁾ France

1) Programme de reconnaissance des certifications forestières

La gestion forestière a un impact direct sur la qualité des sols. PEFC conseille les forestiers et exploitants adhérents dans la mise en œuvre de mesures de protection des sols. Elles limitent leur tassement, favorisent leur fertilité et protègent les nappes phréatiques. L'enjeu est d'assurer le renouvellement de la forêt, et donc sa future exploitation, tout en préservant le milieu forestier.

Limitier le tassement des sols lors des travaux forestiers

« Le sol forestier constitue le capital productif du sylviculteur, il doit le préserver », explique Jean-Marie Lejeune, chargé de mission au Bureau du développement économique de la

sous-direction de la forêt et du bois du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. La pression exercée par l'exploitation forestière peut en effet provoquer un tassement irréversible du sol qui altère son activité biologique. Il devient étanche, voire stérile, et perturbe donc la croissance des futurs arbres. « 60 % du tassement se fait au premier passage des engins », précise Bernard Palluet, responsable national environnement du Groupe de la coopération forestière (GCF).

« Les effets du tassement des sols peuvent perdurer pendant des décennies », ajoute Jean-Marie Lejeune. « Il est, dès lors, essentiel de limiter la circulation des engins forestiers sur les seuls cloisonnements d'exploitation ».



© PEFC France

La fragilité des sols prise en compte dans les cahiers des charges PEFC

L'exploitant forestier certifié PEFC s'engage à organiser le chantier de façon à limiter l'impact de son activité sur les sols. PEFC limite également la circulation des engins forestiers sur les seuls cloisonnements d'exploitation. Les sols étant plus fragiles lorsqu'ils sont humides, PEFC conseille d'interrompre le chantier d'exploitation en cas de mauvaises conditions climatiques. PEFC France encourage par ailleurs des méthodes alternatives de travaux forestiers comme le débardage à cheval. Le cheval occasionne peu, voire aucun dégât lors de son passage : pas d'arrachement de la régénération naturelle, pas de formation d'ornières, pas de tassement des sols.

Utiliser des huiles biodégradables pour protéger les nappes phréatiques

La qualité de l'eau dépend de la qualité des sols forestiers et donc de la gestion forestière. PEFC encourage l'utilisation d'huiles biodégradables, « huile qui se décompose en d'autres produits sous l'action de micro-organismes », explique Serge Leprince, chef des marchés maintenance de *Condat*, PME familiale dont le cœur de métier est la lubrification. Des acteurs-clés de la filière ont pris conscience de leur importance. Pour Serge Leprince de *Condat*, « les lubrifiants biodégradables apportent une valeur ajoutée aux propriétaires des parcelles, aux transporteurs mais aussi aux exploitants ». L'ONF et le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt se sont ainsi engagés dans une démarche volontariste d'utilisation d'huiles biodégradables. Depuis 2009, ce dernier impose en effet l'équi-

pement des machines d'exploitation forestière neuves en huiles hydrauliques biodégradables.

L'ONF généralise l'utilisation de lubrifiants biodégradables

Comme l'explique Éric Meignien, responsable du département développement durable de l'ONF, « l'usage de ces huiles se justifie dans la lutte contre la pollution diffuse des sols, qui menace la qualité des eaux, mais également la biodiversité et la fertilité des sols forestiers ». Il détaille l'ampleur de cette utilisation. « Depuis 2008, pour les coupes et travaux réalisés avec les ouvriers de l'ONF, nous nous imposons de n'utiliser que des lubrifiants biodégradables pour les huiles à usage perdu (scies à chaîne, y compris pour les têtes d'abatteuses), que ce soit en forêt domaniale, en forêt communale ou pour des clients divers. De plus, nous imposons cette même règle à nos sous-traitants, prestataires et acheteurs qui interviennent en forêt domaniale ».

Favoriser la fertilité des sols à travers de bonnes pratiques

Le développement de la forêt est étroitement lié à la qualité des sols, car ils abritent les éléments nutritifs indispensables à la croissance des arbres. L'altération des qualités chimiques et physiques des sols peut avoir des répercussions sur l'ensemble du fonctionnement de l'écosystème forestier. À terme, la forêt ne remplit plus sa mission de puits de carbone et de berceau de biodiversité.

Des mesures de protection des sols intégrées aux cahiers des charges PEFC

PEFC interdit l'utilisation de produits phytosanitaires, d'engrais et de fertilisants à proximité des zones protégées et des habitats remarquables. L'exploitant forestier certifié PEFC doit quant à lui utiliser des matériels adaptés à la sensibilité des sols et à la fragilité des milieux et utiliser dans la mesure du possible des huiles biodégradables pour le matériel forestier. PEFC recommande par ailleurs le maintien dans la forêt de vieux bois ou d'arbres morts. À travers ces exigences et bonnes pratiques, PEFC contribue à la protection des sols et de l'eau. Ainsi, les forestiers et exploitants adhérents à PEFC respectent les grands équilibres de la forêt pour assurer son renouvellement et sa future exploitation. ■



© PEFC France

JUIN

Du 1^{er} au 3 juin 2016 à Nantes

Carrefour international du bois



Ce rendez-vous d'affaires est une vitrine, un excellent baromètre du secteur, un concept 100 % bois. Un espace Filière bois français, avec l'interprofession France Bois Forêt et la Fédération nationale du bois, et un espace Solutions Bois, regroupant Atlanbois et les partenaires, enseignent tout maître d'ouvrage, prescripteur, architecte, professionnels de la construction. Des conférences

comme « Chiffres-clés de la filière bois » par Éric Toppan de l'observatoire économique de FBF, la présentation de la charte « Ensemble mobilisons la forêt », le programme de reboisement en Pays de la Loire, etc.

Le programme complet et les informations sur le site :

www.timbershow.com

Du 15 au 17 juin à Mimizan

Forexpo, imaginer le futur et le découvrir dès maintenant

À Mimizan, au cœur du massif landais, Forexpo est le salon européen des professionnels de la sylviculture et de l'exploitation forestière du 15 au 17 juin 2016. 400 exposants, 500 marques internationales, les dernières innovations de sylviculture et d'exploitation forestière, des démonstrations, des ateliers, des colloques et tables rondes prévus sur un site de 70 ha. De la « graine à la grume », Forexpo est la vitrine de la forêt cultivée : les techniques et savoir-faire, de la préparation du sol à l'exploitation et transport des grumes sont exposées. Les éditions de l'IDF présenteront les dernières nouveautés sur le stand du CRPF Aquitaine.

Informations : www.forexpo.fr



SEPTEMBRE

14^e InterCetef 2016

22 et 23 septembre, en Bourgogne, région d'Autun (Saône et Loire)

Les responsables et animateurs des groupes de progrès et associations de développement forestier de la forêt privée sont invités à échanger sur les différentes sylvicultures du douglas :

- l'avenir du douglas face au changement climatique,
- le renouvellement - coupes rases ou éclaircies progressives, plantation ou régénération naturelle –,
- la valorisation et la qualité du bois de douglas,
- les actions pour les groupes de progrès (CETEF, GDF...).

Des visites de parcelles forestières – gestion en futaie régulière ou irrégulière –, de la scierie FCA à Autun et des exposés sont au programme.

Informations auprès d'Alain Colinot

par courriel :

alain.colinot@cnpf.fr

ou par tél. : 02 38 71 90 62



17 au 25 septembre 2016

5^e voyage au pays du douglas

L'association Trifide et l'agence French Incoming organisent un voyage sur le douglas du 17 au 25 septembre 2016 en Colombie britannique (Vancouver) et dans l'État de Washington (Darrington). Au programme : visite d'une foire forestière, de forêts, de pépinières, de scierie, etc.

Renseignements et inscription auprès de

Rémy Claire au 06 84 99 65 05

ou remy.claire56@e-kiwi.fr

NOVEMBRE

Du 15 au 18 novembre à Lyon

Eurobois

Eurobois, le salon de tous les acteurs de la transformation du bois se tiendra à Lyon du 15 au 18 novembre au parc des expositions : de la machine à bois aux solutions de construction durable.

Informations : <http://www.eurobois.net/>

Du 22 au 25 novembre au Parc des Expositions de Paris-Nord Villepinte

EXPOBOIS 2016

Salon professionnel dédié à l'ensemble de la filière bois, Expobois présente toutes les solutions et technologies pour la transformation et la valorisation du bois et rassemble des fabricants de machines (1^{re} et 2^e transformations), d'équipements et d'outils et des prestataires de service pour optimiser le travail du bois.

Informations : www.expobois.fr

Du 24 au 25 novembre

Forestinnov à Dompierre-les-Ormes (71)

Un nouveau salon de l'innovation et des services pour la filière forestière est organisé les 24 et 25 novembre à Dompierre-les-Ormes (71) par les organisateurs d'Euroforest. Un salon d'affaires spécialisé, de rencontres B to B, et des conférences sont au programme.

Informations : www.forestinnovbyeuroforest.fr

