

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  
**Alain de Montgascon**

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. standard : 04 78 87 29 40

Impression  
**Centre Impression**  
BP 218 — 87220 Feytiat  
Tél.: 05 55 71 39 29

Numéro d'imprimeur 00131

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

**Périodicité : 6 numéros par an**  
**Abonnement 2013**

**France: 48 € - étranger : 62 €**  
**édité par le CNPF-IDF**

Commission paritaire des  
publications et agences de  
presse: n° 1014 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: juillet 2013**



© J. J. Rosa, CRPF - Centre

Entre un opportunisme très réactif et une vision à long terme qui optimise les moyens, il y a une grande différence.

Être forestier, ce n'est pas avoir le nez dans le guidon. Au contraire, c'est réfléchir à l'avenir de nos forêts, à la pérennité des essences, à la sylviculture adaptée pour une production de bois en fonction des sols, du climat et de son évolution.

Les journées techniques nationales, fin janvier à Tours, ont favorisé les échanges, entre les salariés de l'établissement et les administrateurs, hommes de terrain et acteurs de la forêt, pour faire le point sur le changement climatique, comment appréhender ses effets, simuler son évolution, inventorier les impacts sur la gestion des peuplements existants ou les choix possibles d'essences forestières à l'occasion de reboisement.

Une prise de conscience commune s'est établie au fur à mesure des exposés et des débats.

Chacun, par ses connaissances, ses expériences, ses observations a apporté sa contribution aux travaux.

Aujourd'hui, nous œuvrons pour la forêt du XXI<sup>e</sup> siècle et d'une partie du XXII<sup>e</sup> siècle. Cela demande un travail non pas « au doigt mouillé », mais tout à la fois d'une façon scientifique et d'applications techniques. Pour cela, nous disposons d'une bonne analyse du présent, d'une méthodologie de travail comprise et adoptée par tous, de protocoles validés, afin d'éviter les actions inutiles, les doublons ou pire les travaux inutilisables.

Il nous faut également travailler en synergie avec les chercheurs, au sens large, y compris des pays voisins. En effet, ce travail est complexe et de longue haleine, car le changement climatique n'aura pas d'effet que sur les essences forestières, mais aussi sur la flore donc sur la biodiversité, mais également sur les maladies, les insectes, les champignons, et leurs interactions.

Oui, nous vivons un changement, qui sera plus ou moins rapide et plus ou moins profond. Notre atout est d'anticiper au plus tôt et très en amont cette problématique.

Ensemble, sachons être proactifs pour des forêts bien adaptées.

Enfin, vous remarquerez la nouvelle mise en page de notre revue, pour en améliorer le confort de lecture. Un coup de chapeau et bravo à toute l'équipe de la rédaction.

**Alain de Montgascon**



© M. Mouas, CNPF-IDF

Les Fourgs, massif du Jura.

## Numéro suivant N°212

Économie : quelle ressource  
pour quel marché.

<b>ACTUS</b>	>	4
<b>AGENDA</b>	>	63
<b>PARUTION</b>	>	64

## Forêt-entreprise, votre revue de gestionnaire forestier

Oui, je m'abonne (Tarifs 2013)

- Abonnement France 1 an — 6 numéros : 48 €
- 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 Ceteq,  
GDF, et organismes de développement, Fogefor  
— 6 numéros : 33,60 €

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

Code postal .....

Commune .....

Tél. ....

Courriel .....

Chèque bancaire ou postal à l'ordre de  
« agent comptable SUF IDF » 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



© S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne

## AUTÉCOLOGIE > 6

Tilleul à petites feuilles  
Tilleul à grandes feuilles

Par Marine Lestrade, Pierre Gonin, Jaime Coello,  
avec la contribution d'Éric Bruno

## POPULICULTURE > 12

Situation sanitaire des peupliers  
en 2012

Par Morgane Goudet, Olivier Baubet

## CETEF > 47

Plantation de pin maritime  
dans les Landes  
2<sup>e</sup> partie : les travaux préparatoires

Par le Ceteq des Landes, Sylvain Bazas,  
Thierry Carbonnière, Jean-Marc Billac,  
Julien Goullier-Lagadec

## RECHERCHE > 52

Le projet EMERGE :  
estimation de volumes  
et biomasses forestières  
françaises

Par Alice Gauthier, Thiéry Constant, Laurent  
Saint-André, Alain Bouvet, Antoine Colin,  
Patrick Vallet, Marc Jaeger, Christine Deleuze

# Dossier JTN

# Messages aux forestiers pour le changement climatique

- > 18 Le changement climatique en France  
Par Philippe Dandin
  
- > 24 Forêts et changement climatique, quelques éléments issus de la recherche  
Par Jean-Luc Dupouey
  
- > 30 CO<sub>2</sub> : stocker ou produire, faut-il choisir ?  
Par Simon Martel, Loïc Casset, Olivier Picard



© P. Léchine, CRPF Franche-Comté



© O. Martineau, CRPF PACA

*Journées techniques nationales du CNPF à Tours en janvier 2013.*

- > 34 Le programme « Chênaies atlantiques face au changement climatique : comprendre et agir »  
Par Arnaud Guyon, Christian Weben, Jean Lemaire, Christophe Drénou
  
- > 38 S'adapter au changement climatique, le défi des forestiers  
Par Olivier Picard
  
- > 46 L'essentiel

## Biomasse en circuit court

Une base documentaire pour une aide méthodologique pour l'approvisionnement de biomasse en circuit court est disponible sur Internet: un accès aux éléments d'informations essentiels afin d'aider les communes, les porteurs de projets et les différents acteurs du territoire en milieu rural à accompagner l'émergence de chaufferies et de structures d'approvisionnement à partir de biomasse. Une des actions 2011-2012 du groupe Valorisation économique territoriale des ressources locales – sous groupe Biomasse Énergie du Réseau Rural Français –. Ce projet s'intéresse à la fois à la biomasse forestière ligneuse et à la biomasse agricole et comporte donc ces deux volets. Ce projet permet de :

- disposer des éléments clés de compréhension afin d'accompagner l'émergence d'un projet de chaleur à partir de biomasse, et d'organiser son approvisionnement,
- capitaliser des expériences positives sur le plan économique et territorial de mise en place de circuits courts d'approvisionnement en biomasse (bois & biomasse agricole non ligneuse) sous différentes formes juridiques et dans diverses régions.

Ce programme est piloté par le Centre national de la propriété forestière (CNPFF) avec les partenaires suivants: Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne (CRAB), Fédération nationale des communes forestières (FNCOFOR), Comité de liaison aux énergies renouvelables, Cabinet forêt énergies ressources (FER), Union de la coopération forestière Française (UCFF), Coop de France, Assemblées permanentes des chambres d'agriculture (APCA), Chambre régionale d'agriculture de Picardie (CRAP), Isara.

Lien vers le site: [www.foretpriveefrancaise.com/aide-methodologique-pour-l-approvisionnement-de-biomasse-en-circuit-court-247256.html](http://www.foretpriveefrancaise.com/aide-methodologique-pour-l-approvisionnement-de-biomasse-en-circuit-court-247256.html)

Le tableau: [www.foretpriveefrancaise.com/programmes-nationaux-et-europeens-377593.html](http://www.foretpriveefrancaise.com/programmes-nationaux-et-europeens-377593.html)

Plus d'informations: [Biomasse-territoire. info: http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/reseau-rural-francais/fiches-pratiques-monter-un-projet.html](http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/reseau-rural-francais/fiches-pratiques-monter-un-projet.html)

Forêt privée française: <http://www.foretprivee.com/boisenergie/>



Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural: l'Europe investit dans les zones rurales



### Bâtiment B

Nouvelle vitrine de la filière bois en Pays de la Loire, le bâtiment B en bois est innovant, bioclimatique et basse consommation. Il démontre les qualités d'un matériau bois, apte à des audaces architecturales. Ouvert au public, ce centre de ressources et d'information sur le bois et les entreprises régionales sera un lieu d'exposition permanente.

Bâtiment B, 15 bd Léon Bureau à Nantes, plus d'informations sur le site: [www.atlanbois.com](http://www.atlanbois.com)

Vidéo de la construction: [http://www.dailymotion.com/video/xyycvj\\_156590444\\_news#.UaiNHtJM\\_Tp](http://www.dailymotion.com/video/xyycvj_156590444_news#.UaiNHtJM_Tp)

### 1 million d'euros supplémentaire pour le Fonds de modernisation des scieries

Devant le succès rencontré par le Fonds de modernisation des scieries en 2012, Stéphane Le Foll a décidé d'abonder le dispositif au titre de l'exercice 2013 à hauteur d'un million d'euros, pour un montant global de 3,3 M€. Au 31 décembre 2012, le Fonds a déjà permis le financement de 57 projets, pour un montant global de plus de 8,5 M€. En 2013, ce nouvel abondement va permettre au Fonds d'engager au minimum 50 M€ pour l'amélioration des performances de la filière forêt-bois d'une centaine de prêts participatifs de développement.

Mis en place dans le cadre d'un partenariat entre le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt et OSEO, future branche de financement de la Banque Publique d'Investissement (BPI), le Fonds de modernisation des scieries a pour objectif de soutenir l'investissement dans les PME de la filière forêt-bois, aux moments clés de leur développement.

### Des chercheurs transforment la cellulose en aliment...

Les chercheurs de l'Institut polytechnique de Virginie, aux États-Unis ont trouvé comment transformer de la cellulose, la « chair » du bois, en aliment. Les recherches, se sont focalisées sur la manière de recréer de l'amidon, grâce à un cocktail d'enzymes, en assemblage de molécules de glucose.

Recherche de Percival Zhang parue dans *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Retrouvez toute l'information forestière sur [www.foretpriveefrancaise.com](http://www.foretpriveefrancaise.com)  
Abonnez-vous gratuitement à la lettre d'information du site.

## Mission sur la filière forêt-bois

Jean-Yves Caullet, député de l'Yonne et président de l'Office national des forêts (ONF) remet son rapport définitif sur la filière forêt-bois à Jean-Marc Ayrault, premier ministre. Les propositions de sa mission sur la filière bois-forêt portent sur la fiscalité locale (recouvrer tout l'impôt sur le foncier non bâti), la facilitation des regroupements et la gestion des forêts communales. Il préconise aussi la création d'un fonds stratégique de 100 millions d'euros par an pour doter la filière d'un organe de pilotage opérationnel. Il s'agit de "mettre en avant les pistes permettant de valoriser la production sylvicole tout au long de la chaîne de valeur depuis l'amont (gestion durable des forêts, mobilisation du bois) jusqu'à l'aval (bois d'œuvre pour la construction et la rénovation des bâtiments, bois-industrie, bois-énergie) afin que cette filière puisse gagner en compétitivité, trouver de nouveaux marchés à l'export et contribuer au redressement productif de la France".



## Sylvassur

Une évolution majeure dans l'assurance des forêts

Après avoir défini un cahier des charges, la Fédération Forestiers Privés de France a sélectionné Verspieren (Courtier en assurance) pour élaborer un produit d'assurance en dommages incendie et tempête pour les adhérents des syndicats regroupés par Forestiers Privés de France. Sylvassur protège les forestiers privés face aux risques les plus fréquents (incendie et foudre). En option, la garantie prend en charge les dégâts causés par le vent, les ouragans et les tornades. Suivant la zone géographique et la composition de sa forêt, les conditions d'assurance sont personnalisées par parcelle. Sylvassur propose trois seuils de destruction à partir desquels le forestier peut disposer de la totalité de l'indemnisation pour mieux assurer son investissement et reconstituer sa forêt (75 %, 65 %, 50 %).

Plus d'informations auprès de la fédération Forestiers privés de France.

## Concertation sur la loi d'Avenir: seconde phase

Stéphane Le Foll, ministre de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt, poursuit la concertation sur le projet de loi d'Avenir pour l'agriculture, l'agroalimentaire et la forêt avec le Conseil supérieur d'orientation de l'économie agricole et agroalimentaire (CSO) et le Conseil supérieur de la forêt et des produits forestiers. Les six chapitres du projet déclinent les objectifs pour l'alimentation, la performance économique et environnementale des filières agricoles et agroalimentaires, la protection des terres agricoles et de l'installation des jeunes agriculteurs, l'enseignement agricole et la recherche, la forêt, et les agricultures ultramarines. Au terme de ces concertations, le projet de loi pour l'agriculture, l'agroalimentaire et la forêt sera présenté au Conseil des ministres et examiné par le Parlement dès cet automne.



## « Plus d'arbres, plus de vie »

L'opération « Plus d'arbres, plus de vie ! » a permis la plantation de 35 000 arbres, offerts par le Syndicat national des pépiniéristes forestiers. Écoles, associations, collectivités locales, entreprises ont ainsi été sensibilisés au rôle essentiel de l'arbre et la forêt dans le développement durable. Les partenaires de l'opération: Fondation pour l'Éducation à l'Environnement en Europe, France Bois Forêt, Toyota France, Nathan.

## Quand la cellulose déraile, les tiges partent en vrille !

Comment faire le lien entre des interactions moléculaires dans les parois végétales et l'architecture globale des plantes ? Le rôle d'une protéine contrôlant la synthèse de la cellulose vient d'être révélé et suggère que les tiges des plantes vrillent par défaut. Menés par une équipe de l'Inra, du CNRS, de l'ENS de Lyon et de l'Université Claude Bernard Lyon 1, avec des scientifiques allemands, ces travaux lèvent le voile sur les phénomènes fondamentaux qui régissent la forme des plantes et pourraient aboutir à des applications dans le domaine des biomatériaux ou de la biologie prédictive.

Plus d'informations: <http://presse.inra.fr/Ressources/Communique-de-presse/les-tiges-vrillent>



Tige de *Convolvulus Arvensis* avec une tige vrillée (B) et une phyllotaxie altérée (A). Les résultats obtenus chez *Arabidopsis* pourraient aussi expliquer pourquoi certaines tiges vrillent dans la nature.

© Inra, Benoît Landrein

## Vers un Fonds mondial pour une gestion durable des forêts

Le Forum des nations unies sur les forêts (FNUF) a adopté en avril plusieurs mesures en faveur d'une gestion durable des forêts, en clôture de la 10<sup>e</sup> session à Istanbul (Turquie). Depuis sa création en 2000, le FNUF a eu « un impact réel: les tendances de la déforestation dans le monde ont chuté de 20 % en 10 ans », estime l'ONU. « Reconnaisant » la contribution des biens et services des forêts aux économies nationales et locales, le Forum a appelé, dans ses résolutions finales, les gouvernements à intégrer la valeur des forêts dans leurs systèmes nationaux de comptabilité et leurs politiques de développement. Les États membres décideront lors de la prochaine session, en 2015, « s'il est nécessaire d'élaborer un traité international sur les forêts » et « la possibilité de créer un fonds mondial de contributions ».

# Autécologie du Tilleul à petites feuilles

Angl. : Small-leaved Lime      All. : Winterlinde  
 Esp. : Tilo de hoja pequeña      It. : Tiglio selvatico  
 Cat. : Til-ler de fulla petita

*Tilla cordata* Mill.

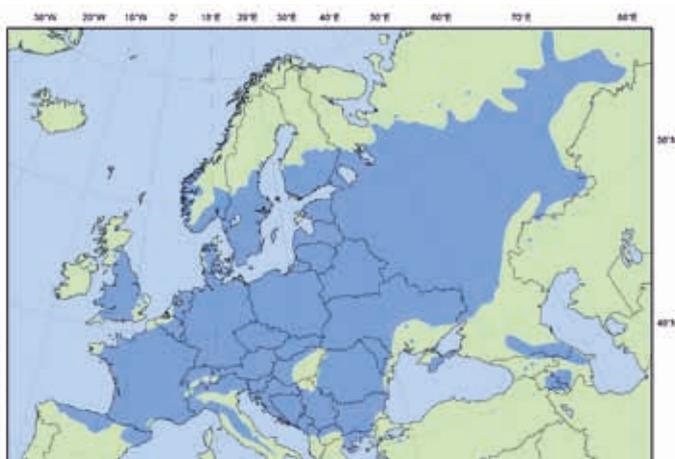


© M. Mousas, CNRPF

## Distribution géographique

- Espèce eurasiatique, **médioeuropéenne**.
- En France, commune dans **l'Est et les Pyrénées, plus rare dans l'Ouest ; assez rare en région méditerranéenne**.
- Très souvent en mélange avec le chêne et le hêtre dans l'Est de la France.

**Aire naturelle de répartition du Tilleul à petites feuilles en Europe**



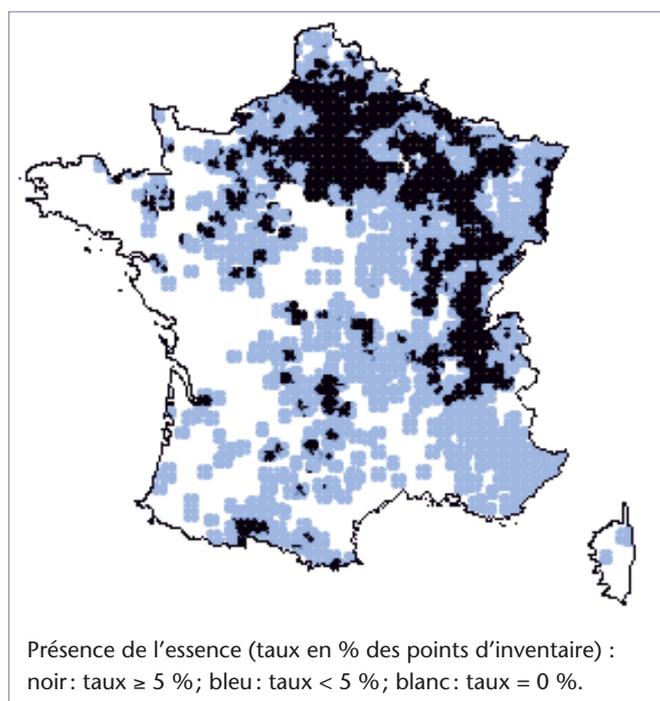
© EUFORGEN 2009

**Distribution du Tilleul à petites feuilles en Espagne**



© DGMMPF - INIA

**Distribution du Tilleul à petites feuilles en France**



© IFN

## Climat et tempérament

### Conditions bioclimatiques

- Tempérament continental, voire légèrement océanique: **ne craint pas le froid et tolère assez bien l'humidité atmosphérique**.
- Le niveau des **précipitations doit être important**.
- **Espèce exigeante en chaleur**, avec un optimum sous climat tempéré. Les stations chaudes en été et protégées des vents froids sont appréciées. **Moins exigeant en chaleur et en humidité de l'air que le Tilleul à grandes feuilles**.
- **Tolérant à la sécheresse**.
- **Assez sensible aux gelées tardives**, mais de façon **moins importante que Tilleul à grandes feuilles** qui débourre plus tôt.

### Synthèse des exigences et sensibilités du Tilleul à petites feuilles au niveau bioclimatique

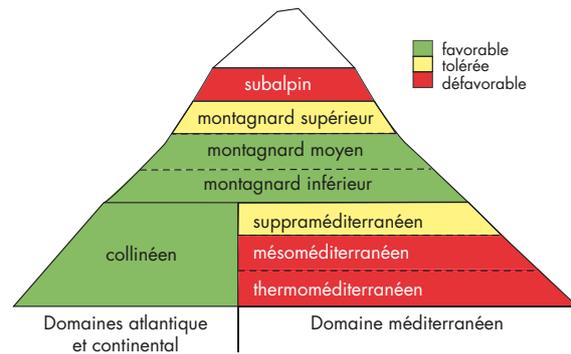
Exigence en chaleur	Sensibilité					
	froid	gelées tardives	gelées précoces	neige collante	vent	sécheresse
Moyenne	Très Faible	Moyenne	Faible	Faible	Faible	Moyenne

# Autécologie du Tilleul à petites feuilles

## Étages de végétation

- Espèce présente aux étages **collinéen** et **montagnard**, rarement au-dessus de 1 000 m bien que sa limite altitudinale atteigne 1 500 m dans les Alpes centrales et 1 100 m dans le Jura.

## Répartition du Tilleul à petites feuilles en fonction des étages de végétation



## Tempérament

- Essence de **деми-ombre**, considérée comme très tolérante à l'ombrage, mais également **réagissant très favorablement à la lumière**.
- Les semis tolèrent très bien l'ombrage et doivent être protégés d'un fort ensoleillement, même s'il faut un minimum de lumière pour obtenir une régénération et avoir une croissance satisfaisante.



Sensibilité à la concurrence vis-à-vis de la lumière	Tendance au phototropisme
Moyenne à forte	Moyenne

## Limites climatiques

- Au nord, limite reflétée par l'aire de répartition en Europe du Nord avec une température moyenne annuelle de + 2°C.
- Au sud, limite liée aux fortes sécheresses estivales de la région Méditerranéenne.

## Sols

## Eau et drainage

### Alimentation en eau :

- Espèce **mésophile qui préfère les sols assez épais**, à **bilan hydrique plutôt favorable**, d'où sa présence sur des sols argileux, même lourds, à bon approvisionnement en eau. Espèce **mésohygrophile** dans des **conditions climatiques plus sèches** (méditerranéennes). Cependant, il supporte des stations plus sèches où il concurrence des espèces, comme le hêtre, qui sont en limite stationnelle.

### Engorgement :

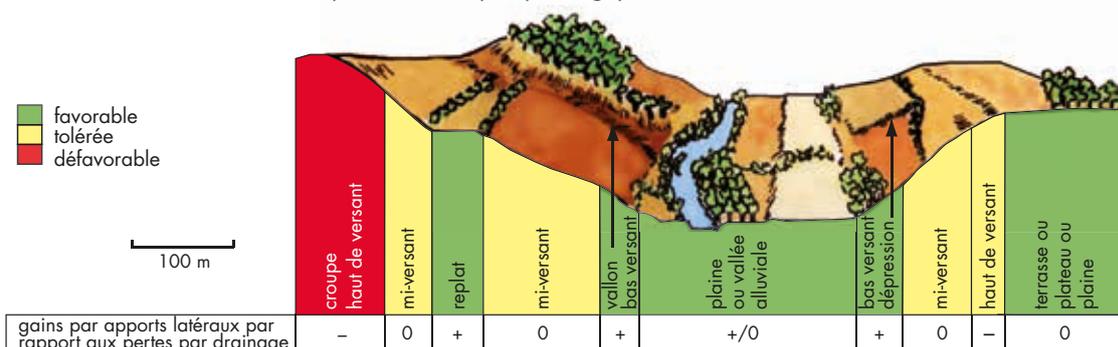


### Drainage et excès d'eau

			a	b	c	d	h	i	e	f	g
Drainage naturel			excessif	bon	modéré	imparfait	mauvais	très mauvais	partiel	quasi-inexistant	inexistant
nappe	temporaire	horizon rédoxique avec taches rouille	pas de nappe	absent ou > 90 cm	60-125 cm	40-80 cm	20-50 cm	0-30 cm	20-50 cm	0-30 cm	-
	permanente	horizon réductique avec réduction	pas de nappe	-	-	-	-	-	> 80 cm	40-80 cm	< 40 cm

(d'après le « Fichier écologique des essences », Ministère de la Région Wallonne, 1991, modifié)

### Situations topographiques favorables au Tilleul à petites feuilles du point de vue de l'alimentation en eau (intervient dans les compensations morpho-pédologiques, à moduler en fonction du climat et du sol)



# Autécologie du Tilleul à petites feuilles

## Texture et matériaux

- Espèce présente le plus souvent sur argiles, limons et loess, mais elle est **peu exigeante** et on la retrouve également sur des sols argileux compacts, des sables ou des éboulis calcaires.

### Textures favorables au développement du Tilleul à petites feuilles

(intervient dans les compensations morpho-pédologiques, à moduler en fonction des autres caractéristiques stationnelles)

très sableuse S	grossière SA, LS, SL	limoneuse LmS, Lm, Ll, LIS	intermédiaire LAS, LSA, LA, AL	argileuse A, AS	très argileuse Alo	favorable tolérée défavorable
--------------------	-------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------	-----------------------	-------------------------------------

## Nutriments

### Éléments nutritifs :

- Espèce présente sur une **large gamme de pH**, basique à acide.
- **Présente préférentiellement sur les sols riches en éléments minéraux**, même si l'on peut la trouver sur des sols pauvres.

### Azote et phosphore :

- Espèce **moyennement exigeante**, présente sur des formes d'humus allant de l'**eumull au moder**, mais avec un **optimum sur mull**.

### Calcaire dans la terre fine :

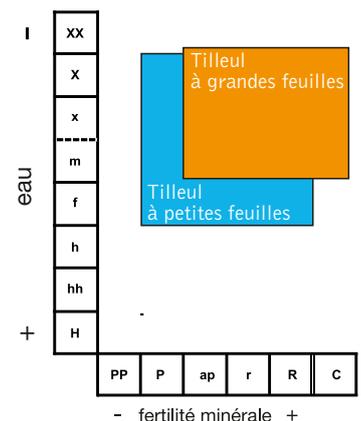
- Espèce présente sur **calcaire** et préfère les sols riches en calcium.

### Synthèse des besoins et sensibilité du Tilleul à petites feuilles pour l'eau et les nutriments

Besoins en eau	Moyens
Sensibilité à l'engorgement temporaire	Faible à moyenne
Besoins en éléments nutritifs (Ca, Mg, K)	Moyens
Besoins en azote (et phosphore)	Moyens
Sensibilité au calcaire dans la terre fine	Faible

### Écogramme des Tilleuls

Situations favorables à la production de bois  
(d'après Rameau et al., 1989)



## Comportement dynamique et particularités

- Espèce **postpionnière nomade**, capable de **coloniser des éboulis**.
- Rejette de souche et drageonne.
- Croissance en hauteur **assez lente les premières années, rapide ensuite** jusqu'à 70 ans, puis devenant très faible après 150-180 ans, les plus hauts tilleuls pouvant atteindre 30 m, soit des hauteurs inférieures à celles du Tilleul à grandes feuilles.
- **Longévité élevée** (500 à 1 000 ans).
- Présent à l'état disséminé ou constitue des peuplements souvent peu étendus du fait de son tempérament qui nécessite de la lumière et est sensible à la concurrence des dryades, notamment le hêtre.
- Présent dans les forêts de ravins (communauté du *Tilio-Acerion*), mais également dans les hêtraies-chênaies et les forêts riveraines.

### Principaux facteurs limitant la production de bois de qualité

- concurrence vis-à-vis de la lumière, après la phase d'installation
- sol engorgé près de la surface sur une longue période
- large amplitude écologique, mais privilégier les stations bien alimentées en eau et chimiquement riches

# Autécologie du Tilleul à grandes feuilles

Angl. : Largeleaf linden  
(Large-leaved Lime)  
Esp. : Tilo de hoja ancha  
Cat. : Tell de fulla gran

All. : Sommerlinde  
It. : Tiglio nostrano

*Tilia platyphyllos Scop.*

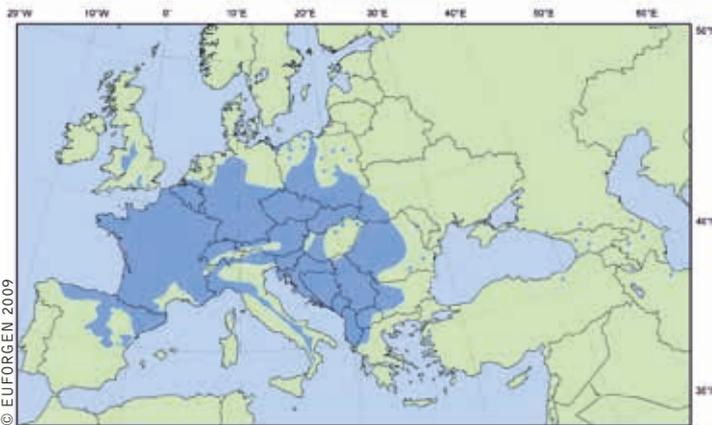


© P. Gonnin, CNPF

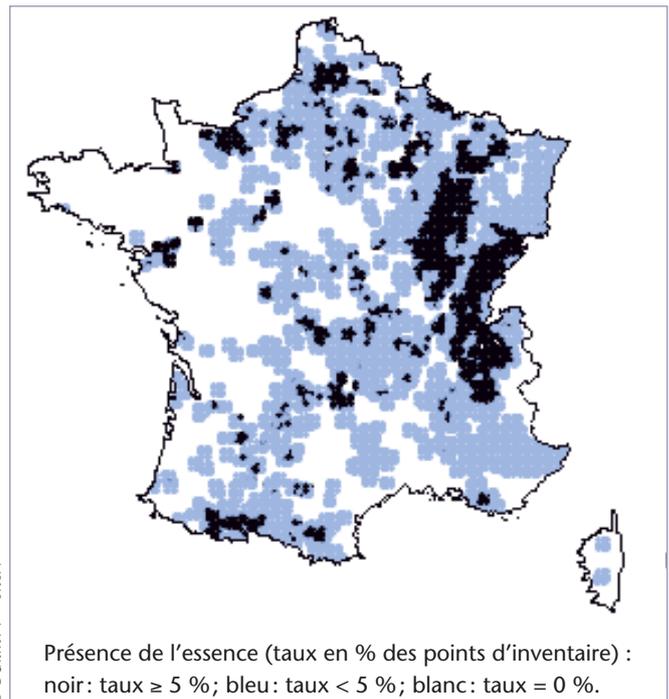
## Distribution géographique

- Espèce eurasiatique, **subatlantique, subméditerranéenne**.
- En France, assez commune dans **l'Est, les Pyrénées et les basses montagnes méridionales** (Alpes), **rare dans l'Ouest et sur le littoral méditerranéen**.

**Aire naturelle de répartition du Tilleul à grandes feuilles en Europe**



**Distribution du Tilleul à grandes feuilles en France**



Présence de l'essence (taux en % des points d'inventaire) : noir: taux ≥ 5 %; bleu: taux < 5 %; blanc: taux = 0 %.

**Distribution du Tilleul à grandes feuilles en Espagne**



## Climat et tempérament

### Conditions bioclimatiques

- Préfère les **climats subatlantiques à subméditerranéens**; **plus exigeant en chaleur que le Tilleul à petites feuilles**.
- **Supporte les froids hivernaux. Plus sensible aux gelées tardives que le Tilleul à petites feuilles** qui débourne plus tard.
- **Plus exigeant en humidité de l'air que le Tilleul à petites feuilles**, d'où sa présence sur les versants nord ou dans les forêts de ravins.

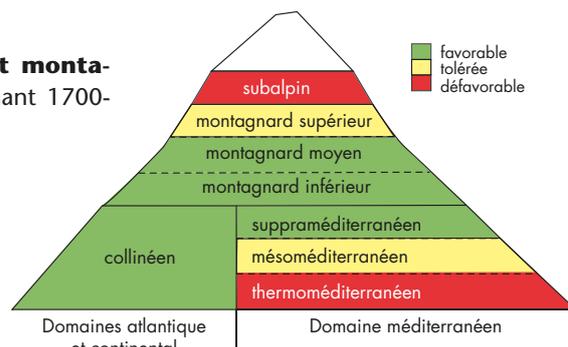
**Synthèse des exigences et sensibilités du Tilleul à grandes feuilles au niveau bioclimatique**

Exigence en chaleur	Sensibilité					
	froid	gelées tardives	gelées précoces	neige collante	vent	sécheresse
Moyenne	Très Faible	Forte	Faible	Faible	Faible	Moyenne

### Étages de végétation

Espèce présente aux étages **supraméditerranéen, collinéen et montagnard** où il peut dépasser 1000 m, sa limite altitudinale atteignant 1700-1 800 m dans les Alpes centrales.

**Répartition du Tilleul à grandes feuilles en fonction des étages de végétation**



# Autécologie du Tilleul à grandes feuilles

## Tempérament

- Essence **d'ombre ou de demi-ombre**, tolérante à l'ombrage dans le jeune âge. Ensuite **demande de la lumière, plus que le Tilleul à petites feuilles**, notamment dans des conditions climatiques ou pédologiques défavorables.
- Le Tilleul est donc peu compétitif vis-à-vis des espèces sciaphiles comme le hêtre, même s'il est présent dans les hêtraies à Tilleul sur des versants ombragés d'ubac ou des fonds confinés.

Jeune âge



Adulte



Sensibilité à la concurrence vis-à-vis de la lumière

Forte

Tendance au phototropisme

Moyenne

## Sols

### Eau et drainage

#### Alimentation en eau :

- Espèce **xérophile à mésophile**, présente sur des sols dont la réserve en eau couvre un large gradient, pouvant aller jusqu'à des conditions stationnelles sèches (hauts de pentes à éboulis grossiers et expositions chaudes). Cependant, le Tilleul à grandes feuilles se trouve souvent dans des **conditions d'humidité supérieures à celles du Tilleul à petites feuilles**, à régime hydrique équilibré, par exemple dans les habitats de Tiliaie hygrosциaphile.

#### Engorgement :

- Espèce **absente sur les sols mal aérés**.

favorable  
toléré  
défavorable

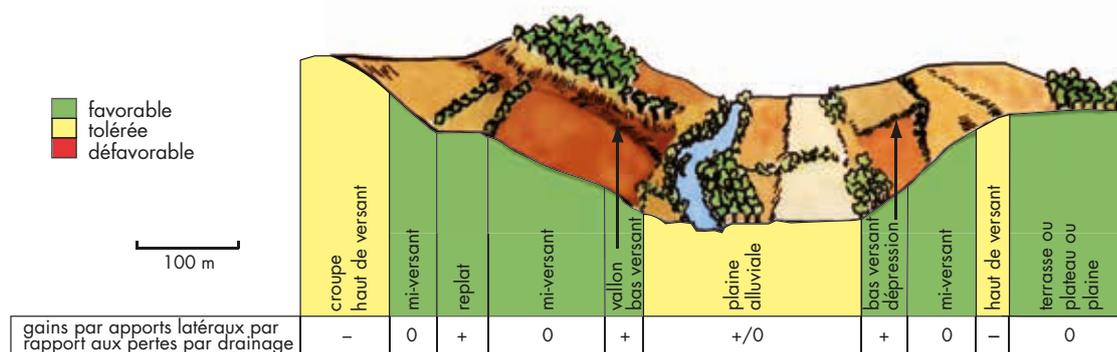
#### Drainage et excès d'eau

			a	b	c	d	h	i	e	f	g
Drainage naturel			excessif	bon	modéré	imparfait	mauvais	très mauvais	partiel	quasi-inexistant	inexistant
nappe	temporaire	horizon rédoxique avec taches rouille	pas de nappe	absent ou > 90 cm	60-125 cm	40-80 cm	20-50 cm	0-30 cm	20-50 cm	0-30 cm	-
	permanente	horizon réductique avec réduction		-	-	-	-	-	> 80 cm	40-80 cm	< 40 cm

(d'après le « Fichier écologique des essences », Ministère de la Région Wallonne, 1991, modifié)

#### Situations topographiques favorables au Tilleul à grandes feuilles du point de vue de l'alimentation en eau

(intervient dans les compensations morpho-pédologiques, à moduler en fonction du climat et du sol)



## Texture et matériaux

- Matériaux carbonatés, éboulis grossiers sur gneiss ou calcaire, argiles de décarbonatation.
- Du fait de sa **plasticité** et de son comportement nomade, on peut trouver cette espèce sur les versants abrupts avec des éboulis à sols très filtrants et bien aérés, souvent frais, ou sur des sols minces de plateau.

#### Textures favorables au développement du Tilleul à grandes feuilles

(intervient dans les compensations morpho-pédologiques, à moduler en fonction des autres caractéristiques stationnelles)

très sableuse S	grossière SA, LS, SL	limoneuse LmS, Lm, LI, LIS	intermédiaire LAS, LSA, LA, AL	argileuse A, AS	très argileuse Alo	favorable tolérée défavorable
--------------------	-------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------	-----------------------	-------------------------------------

# Autécologie du Tilleul à grandes feuilles

## Nutriments

### Éléments nutritifs :

- Espèce présente sur **sols riches en bases**, depuis les pH légèrement acides à basiques. **Supporte moins la pauvreté minérale que le Tilleul à petites feuilles.**

### Azote et phosphore :

- Forme d'humus : **eu Mull**, même carbonaté, mais **peut se contenter de sols pauvres en matière organique**, comme sur les éboulis où sa nutrition en azote est relativement correcte.

### Calcaire dans la terre fine :

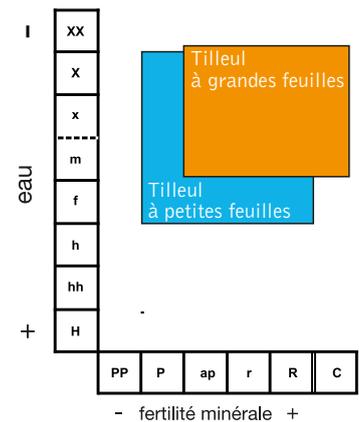
- Espèce présente sur matériaux carbonatés.

### Synthèse des besoins et sensibilité du Tilleul à grandes feuilles pour l'eau et les nutriments

Besoins en eau	Moyens
Sensibilité à l'engorgement temporaire	Forte
Besoins en éléments nutritifs (Ca, Mg, K)	Moyens
Besoins en azote (et phosphore)	Moyens
Sensibilité au calcaire dans la terre fine	Nulle à très faible

### Écogramme des Tilleuls

Situations favorables à la production de bois  
(d'après Rameau et al., 1989)



## Comportement dynamique et particularités

- Espèce **postpionnière nomade**, capable de coloniser des éboulis même sur versant chaud.
- Rejette de souche et drageonne.
- Croissance en hauteur **assez lente les premières années, rapide ensuite** jusqu'à 70 ans, puis devenant très faible après 150-180 ans, les plus hauts tilleuls pouvant atteindre 40 m, soit des hauteurs supérieures à celles du Tilleul à petites feuilles.
- **Longévité très élevée** (1 000 ans), légèrement supérieure à celle du Tilleul à petites feuilles.
- Essence de maturation dans les forêts de ravins (Erablaie sur éboulis, Frênaie de pentes, communautés du *Tilio Acerion*), présente également dans les hêtraies et hêtraies-chênaies sèches, ou en mélange avec le chêne pubescent dans les basses et moyennes montagnes méridionales.

## Principaux facteurs limitant la production de bois de qualité

- concurrence vis-à-vis de la lumière, surtout dans le jeune âge
- sol engorgé près de la surface sur une longue période
- pauvreté minérale et forme d'humus à recyclage lent (moder)



■ Fiche réalisée dans le cadre du projet européen interreg 4a « Pirinoble » ([www.pirinoble.eu](http://www.pirinoble.eu)) associant quatre partenaires français et espagnols : CNPF - Institut pour le Développement Forestier (IDF), Centre Régional de la Propriété Forestière de Midi-Pyrénées (CRPF), Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), Centre de la Propietat Forestal (CPF).

■ Auteurs : **Marine Lestrade** (CRPF Midi-Pyrénées), **Pierre Gonin** (IDF), **Jaime Coello** (CTFC), avec la contribution d'Eric Bruno (IFN) pour les cartes de distribution française.

■ Remerciements pour leur relecture à Miriam Piqué, Teresa Baiges Zapater, Laurent Larrieu.

■ Fiches autécologie avec références bibliographiques et Guide de lecture (Forêt-entreprise n° 203, 2012, p. 5-8) disponibles sur internet [www.foretpriveefrancaise.com](http://www.foretpriveefrancaise.com) et [www.pirinoble.eu](http://www.pirinoble.eu).

■ Référence de la fiche : **Lestrade M., Gonin P., Coello J., 2013** - Autécologie du Tilleul à petites feuilles (*Tilia cordata* Mill.) et du Tilleul à grandes feuilles (*Tilia platyphyllos* Scop.). *Forêt-entreprise* n°211, 2013, p. 6-11.



# Situation sanitaire des peupliers en 2012

Par Morgane Goudet <sup>(1)</sup>, Olivier Baubet <sup>(2)</sup>

*Ce bilan de l'état sanitaire de peupleraies est le résultat de suivis mis en place par le Département de la santé des forêts, pour l'année 2012.*

1) Département de la Santé des forêts, Paris.

2) Pôle santé forêt Massif central/Bourgogne.

Chaque année, les correspondants-observateurs du Département de la santé des forêts effectuent divers suivis sanitaires afin d'établir un bilan sanitaire des peupleraies françaises. Ces enquêtes offrent en particulier un état des lieux des grands problèmes sanitaires comme le puceron lanigère ou les pathologies foliaires.

Les observations menées depuis quelques années montrent un fort déterminisme de la nature du cultivar sur les problématiques sanitaires. Le choix des cultivars semble ainsi définir le contexte épidémiologique et peut parfois le modifier.

## Mortalités continues sur le Beaupré

Le cultivar interaméricain Beaupré a été massivement installé dans les peupleraies dans les années 90 pour ses critères de croissance et de rectitude exceptionnelles, ainsi que pour sa résistance à la rouille. Il a cependant subi, depuis la fin des années 90, de fortes attaques chaque année, après le contournement de cette résistance par le pathogène. En 2012, des mortalités sont observées dans les peupleraies encore présentes qui ont enduré

des attaques répétées ces dernières années, en particulier dans toute la partie nord de la France. Des parasites secondaires s'installent généralement dans les peuplements : dothichiza, scolytes...

## Les pathologies foliaires

Les rouilles, et plus généralement l'ensemble des pathologies foliaires, font partie des éléments clés de l'état sanitaire des peupleraies. Leur impact sur les principaux cultivars est suivi en France de façon fine par les organismes de recherche (Inra), mais aussi par le DSF pour les peupleraies à l'aide d'un réseau de placettes permanentes qui s'appuie sur quelques peupleraies de production représentatives et sur les dispositifs expérimentaux appartenant à la forêt privée (CRPF, IDF), à l'IRSTEA et au FCBA. 58 cultivars sont ainsi suivis sur 52 placettes.

Les agents recherchés sont principalement les rouilles (*Melampsora* sp) et la brunissure (*Marssonina brunea*), les autres causes de dommages constatées sont également signalées. L'évaluation de la masse foliaire affectée par les pathogènes foliaires en fin d'été permet d'avoir une vision des variations interannuelles de la virulence des rouilles (Figure 1).

Sans surprise, les interaméricains (Beaupré, Raspalje...) sont plus sensibles aux rouilles que les euraméricains (Koster, Triplo, I 214...) et les deltoïdes (Dvina, Lena, Alcinde...).

## En savoir +

Site du Département de la santé des forêts : <http://agriculture.gouv.fr/suivi-de-la-sante-des-forets>

Portail de la filière peuplier  
[www.peupliersdefrance.org](http://www.peupliersdefrance.org)

Figure 1 - Impact des rouilles sur les catégories de cultivars sur l'ensemble des placettes du réseau.

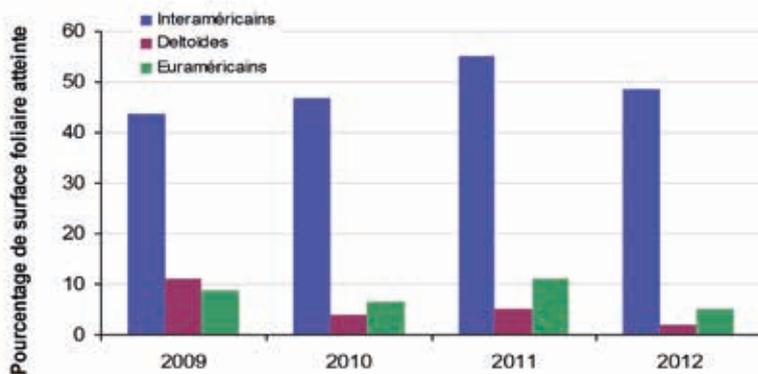
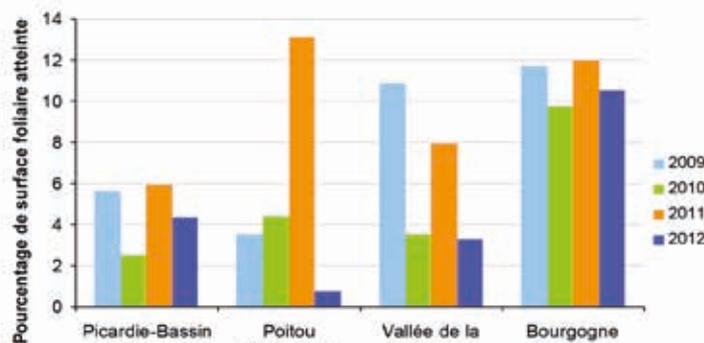


Figure 2 - Évolution de l'impact des pathologies foliaires (en particulier les rouilles et *Marssonina brunea*) sur l'ensemble des cultivars observés sur le réseau de placettes (interaméricain, euraméricain et deltoïdes).



En 2011, avec l'arrivée tardive de la pluie, les attaques de rouille à *Melampsora* ont été moins précoces qu'en 2010, sauf en Bourgogne. Les rouilles ne se sont développées vraiment qu'au cours de l'été vers la mi-août, mais les défoliations ont été massives à partir de la fin août. En 2012, les attaques de rouille se sont développées tôt en juillet, mais ont été bloquées en deuxième partie d'été par le climat plus chaud et plus sec.

Toutefois, des défoliations ont parfois été impressionnantes, sauf dans la vallée de la Loire et en Picardie où elles sont restées discrètes.

Le pathogène *Marssonina brunea* est resté encore une fois très discret, il a été pratiquement invisible en 2012. Ce pathogène touche davantage les euraméricains, en particulier le Koster, le Triplo et le I 214.

Le suivi permet également de donner une vision des attaques selon la localisation des cultivars. Ainsi, la région populeicole de Bourgogne est la plus affectée chaque année (Figure 2).

Parmi les dommages observés, les rouilles sur les interaméricains (les plus sensibles), et en particulier le Beaupré, sont les plus fréquents.

## Les plantations, un suivi spécifique

Les pathologies foliaires se font également remarquer dans les jeunes plantations, puisqu'elles constituent la grande majorité des problèmes pathologiques observés sur les jeunes plants. La plantation est une phase délicate dans la vie de la peupleraie, les problèmes sanitaires peuvent y voir un impact fort.

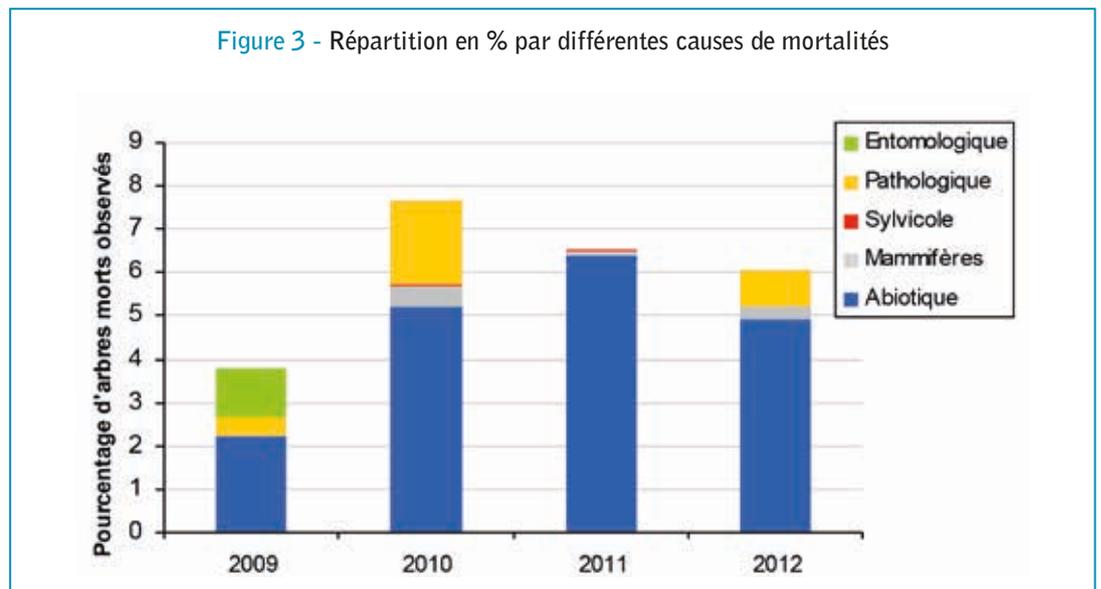
Chaque année, un suivi spécifique permet de rendre compte de la réussite des plantations la première année d'installation des plants. Les plantations sont parcourues au printemps et à l'automne, pour évaluer les différents dommages. Les observations montrent une bonne réussite des plantations, puisque moins de 8 % des plants observés dans le cadre du suivi meurent chaque année.

Ce taux est relativement stable dans le temps, traduisant une certaine maîtrise des techniques de plantations de peupliers. Parmi les plants morts, les problèmes abiotiques ou liés à de mauvaises conditions de plantation sont les principales causes de mortalités (Figure 3).

**Entomologique :**  
dû aux insectes.

**Abiotique :** dû à un  
facteur écologique,  
physique ou  
environnemental.

**Pathologique :** dû à  
une maladie



Les mortalités constatées lors du suivi de plantation, qui sont liées à des problèmes entomologiques en 2009, sont dues à des attaques de chrysomèle dans une plantation du cultivar Koster dans l'Indre.

### Soligo, un cas particulier

Au cours de l'hiver 2010-2011, des plantations du cultivar Euraméricain Soligo ont enregistré d'importantes mortalités dans différentes régions (Picardie, Centre, Bourgogne). Les mortalités, qui pouvaient atteindre 90 % de la plantation, se répartissaient aléatoirement dans la plantation, ne mettant pas en cause la station, sauf micro variations. Les plants présentaient un très faible développement du système racinaire. Le diagnostic écartait également les causes biotiques, entomologiques ou pathologiques.

Deux hypothèses ont été envisagées :

- la première est qu'un stress important en pépinière, lors de la mise en réserve à l'automne pouvait expliquer l'affaiblissement des plançons qui ne sont pas arrivés à s'installer l'année suivante.
- la deuxième est une difficulté de ce cultivar à s'installer sur station plutôt argileuse séchante, surtout en cas d'hiver sec (ce qui a été exceptionnellement le cas en 2010-2011). Ces deux hypothèses demanderaient à être vérifiées. Par ailleurs, les peupliers, qui ont débourré, montrent en 2012 une croissance tout à fait correcte.

De nouvelles difficultés de reprise ont été signalées au cours de la saison 2012, en particulier dans le Centre.

### Le puceron lanigère, ralentissement des attaques

Le puceron lanigère est sans aucun doute l'insecte occasionnant actuellement le plus de dégâts sur les peupliers, en particulier sur les Euraméricains. Depuis plusieurs années, le Département de la santé des forêts a mis en place des suivis spécifiques pour évaluer l'impact du puceron et pour suivre sa progression sur le territoire.

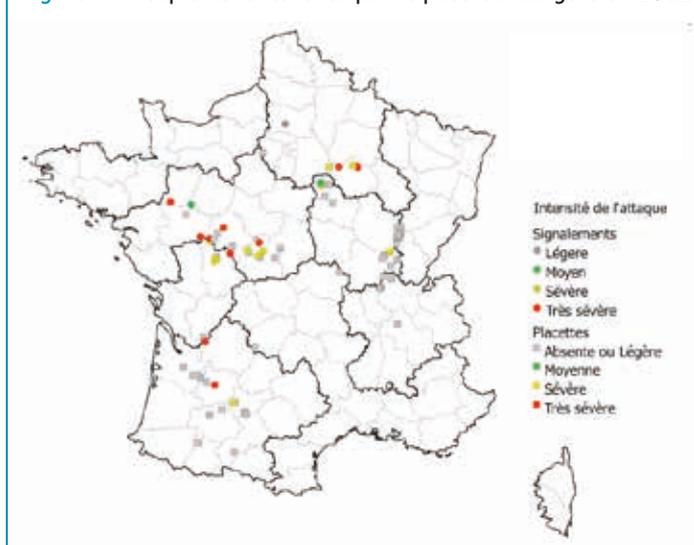
Le puceron est désormais présent dans toutes les régions populières, même s'il n'est pas encore totalement répandu dans la région Picardie/Bassin parisien, où les premières colonies n'ont été observées que récemment. En 2011 en effet, la présence du puceron avait été signalée dans de nouveaux départements, en particulier dans les peupleraies de Picardie (dans l'Oise et l'Aisne).

Le cultivar I 214 enregistre toujours le plus de dommages. Sa grande sensibilité au puceron, ainsi que d'autres problèmes sanitaires, ont conduit à le retirer totalement, en 2012, de la liste des cultivars aidés par l'État.

L'évolution des attaques de puceron lanigère à l'échelle nationale semble suivre un cycle bisannuel. Depuis la forte attaque de 2007, la présence du puceron s'est faite remarquer en 2009 et 2011. Même si les dégâts au cours de ces derniers épisodes ont perdu en intensité, la problématique reste bien présente. En 2011, les attaques ont été très précoces, parfois dès le mois de mai, mais des précipitations estivales ont perturbé la dynamique naturelle des populations et l'impact de ces attaques est resté globalement limité. Les attaques signalées dans le bassin de la Loire, en particulier dans la vallée de la Vienne sont les plus fortes. Des mortalités y ont été constatées en



Figure 4 - Peuplements touchés par le puceron lanigère en 2012



2012, suite aux attaques de l'automne 2011. En 2012, les populations de puceron lanigère sont restées très limitées. Pendant ces années de latence, un développement automnal discret est parfois décelé.

## Quelques problèmes sanitaires observés en 2012

### Les suites du fort gel de février

Après un mois de janvier particulièrement doux, le mois de février 2012 a été marqué par une période de gel intense qui a perduré pendant une quinzaine de jours. Elle avait été précédée par un mois de janvier particulièrement doux, et susceptible d'amorcer des flux de sève. Cette longue période de grand froid a marqué le paysage populier. Les conséquences immédiatement visibles ont permis d'observer des fentes ou gélivures, allant de 1 à 3 mètres de hauteur et souvent orientées sud-ouest (zone de réchauffement des tissus plus rapide), essentiellement en région Poitou-Charentes mais également bien visibles en régions Bourgogne et Centre. Les dégâts ont principalement touché le Dorskamp, ainsi que le I 214 dans une moindre mesure. Certains peuplements ont été touchés à 80 %. Les gélivures anciennes se sont réouvertes par endroits.

En **Poitou-Charentes**, des mortalités de **Dorskamp** sont constatées depuis quelques années dans des peuplements adultes situés sur des stations alluviales pourtant bien alimentées en eau. Des nécroses sur les troncs avec des écoulements noirâtres et parfois des décollements d'écorce ont été observées. Dans un contexte d'alimentation en eau difficile (baisse significative du niveau des nappes), la

densité d'implantation des peupliers pourrait jouer un rôle dans l'explication de ces mortalités. Les mortalités sont observées lorsque les plants sont installés à une distance égale ou inférieure à 7 mètres.

D'autres types de **nécroses** ont été détectés sur une zone très limitée du Nord de la **plaine de Saône** (au sud-est de la Côte-d'Or), sur Koster, Flévo et Dorskamp. Les nécroses corticales en bande concernaient des jeunes plantations de 7 ans sur station humide. Elles se trouvaient préférentiellement situées à la base du houppier, entre 4 et 8 m de hauteur. *Fusarium solani* a été identifié. Il semble que ce champignon puisse occasionner des nécroses sur les tiges mais il se comporte plutôt comme un pathogène de faiblesse. Ce dernier est généralement associé à des dégâts d'origine abiotique, cependant aucun phénomène de ce type n'a été identifié dans les cas étudiés. L'origine du problème pourrait remonter à l'automne 2010, voire au printemps en 2011, les symptômes ont évolué vers des noircissements et des nécroses marquées. Les mortalités restent faibles (environ 5 %) mais les lésions corticales peuvent atteindre le tiers des tiges. ■

**1- Dégât de gel sur Dorskamp.**

**2- Mortalités de Beaupré dans une peupleraie touchée de façon récurrente par la rouille.**

#### Résumé

Le département de la santé des forêts assure régulièrement un suivi sanitaire de peupleraies en France. Cet article liste les observations des maladies en 2012, en précisant l'importance statistique et les évolutions récentes pour différents cultivars. Les plantations font l'objet d'un suivi spécifique.

**Mots-clés :** peuplier, suivi sanitaire, pathogènes, cultivars, 2012.

Nos remerciements à **Éric Paillassa** pour sa relecture.

# Quels messages du CNPF pour faire face au changement climatique ?

## Sommaire

- 18 Le changement climatique en France
- 24 Forêts et changement climatique quelques éléments issus de la recherche
- 30 CO<sub>2</sub> : stocker ou produire, faut-il choisir ?
- 34 Le programme « Chênaies atlantiques face au réchauffement climatique : comprendre et agir »
- 38 S'adapter au changement climatique, le défi des forestiers
- 46 L'essentiel

*Les élus professionnels, les techniciens et ingénieurs du CNPF réunis à Tours en janvier 2013.*

© S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne



Olivier Picard, CNPF-IDF, responsable du service Recherche & Développement, coordinateur du RMT Aforce sur l'adaptation des forêts au changement climatique



© S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne

**330** élus professionnels, ingénieurs et techniciens du Centre national de la propriété forestière, CNPF, se rassemblent afin de répondre aux questions des gestionnaires forestiers face au changement climatique, à Tours en janvier 2013. Comprendre et anticiper les impacts du changement climatique sur la forêt française au cours du siècle est un véritable défi qui mobilise les forestiers. Ce séminaire du CNPF définit les orientations de l'établissement public face à cet enjeu de société, au cœur de ses missions de développement et d'amélioration de la gestion des forêts privées.

le métier de conseiller du CNPF va évoluer vers une assistance globale au plus près du massif concerné.

Les motivations de ces journées sont à la fois internes à l'établissement, mais surtout externes vers les sylviculteurs pour :

- disposer d'une méthode d'analyse structurée et complète,
- encourager le diagnostic comme préalable à l'action,
- actualiser le diagnostic, objectiver les situations,
- éviter les recettes toutes faites, les à-coups de gestion,
- intégrer des innovations dans le conseil,
- comprendre que les conseils évolueront dans le temps,
- rendre les forestiers observateurs puis acteurs pour développer une attitude constructive : comment relever le défi du changement climatique ?

Ce dossier de Forêt-entreprise reprend les exposés et conclusions de ces journées. Philippe Dandin et les climatologues de Météo France affinent la connaissance du climat et de ses changements. Ils travaillent à rendre accessibles à tous, modèles et informations pragmatiques.

Jean-Luc Dupouey, directeur de recherche à l'Inra de Nancy, décrit et analyse les effets du changement climatique déjà observés, tant pour la végétation que pour la faune associée. Les arbres réagissent soit par l'accommodation, l'adaptation, la migration ou enfin par la mortalité.

La mobilisation de techniciens et ingénieurs de l'établissement, via la coopération des CRPF pour le programme « Chênaies atlantiques » produit des résultats encourageants et des outils d'aide à la décision. Sans oublier que la forêt atténue déjà le changement climatique par les « 3 S » : séquestration, stockage, substitution. Le carbone constitue ainsi un levier de financement d'actions sylvicoles. ■

## “Anticiper les impacts du changement climatique sur la forêt française est un véritable défi qui mobilise les forestiers.”

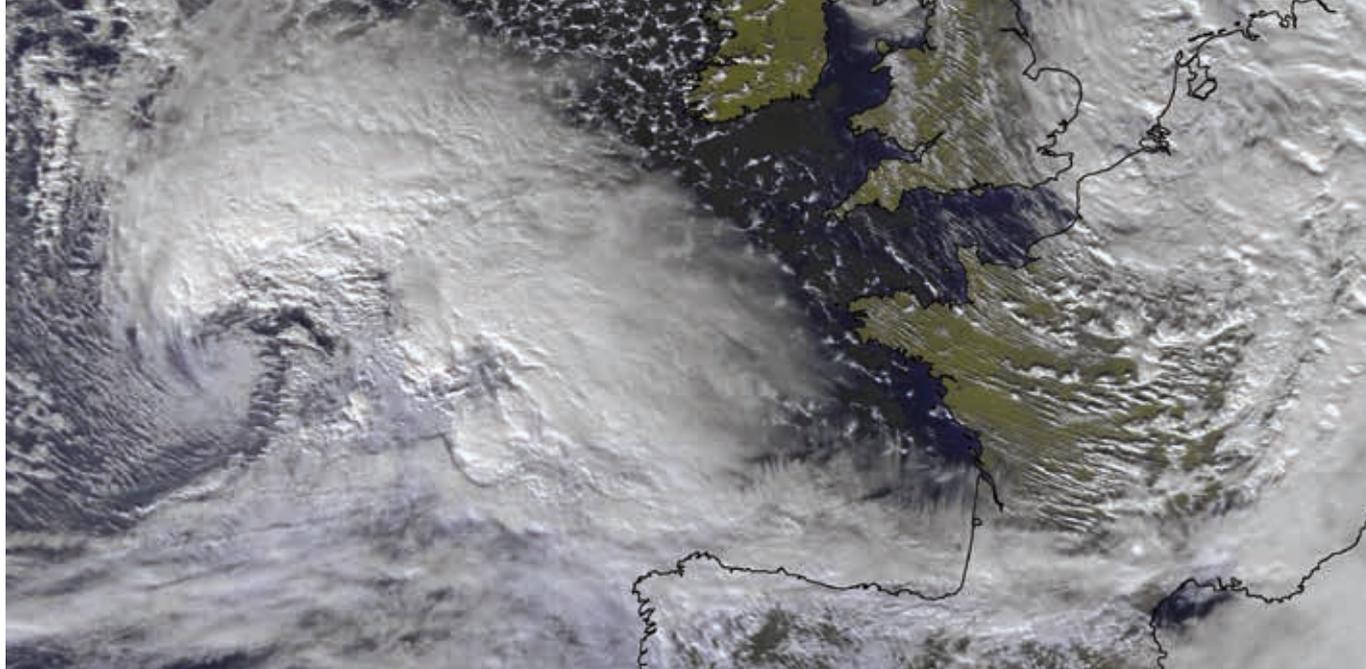
L'objectif des journées techniques, via les ateliers thématiques, est de :

- construire ensemble un discours cohérent de développement forestier,
- harmoniser les actions du CNPF en la matière, en mutualisant nos compétences,
- prévoir des outils d'aide à la décision pour les sylviculteurs,
- préparer l'avenir de la forêt privée française.

Pour le siècle à venir, le changement des conditions climatiques va impacter le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les forestiers doivent anticiper et adapter leur gestion à ce nouveau contexte. Ainsi,

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

Adaptation des forêts au changement climatique :  
- réseau AFORCE [www.foretpriveefrancaise.com/aforce/](http://www.foretpriveefrancaise.com/aforce/)  
- interventions de la journée (intranet du personnel CRPF) :  
[www.foret-privee.net/cnfp](http://www.foret-privee.net/cnfp)



© Météo France, Centre de Météorologie Spatiale

# Le changement climatique en France

Par Philippe Dandin<sup>1)</sup>

Image satellite de la tempête Klaus. 23 janvier 2009. Satellite NOAA 18.

*Le changement climatique, dû aux activités humaines, est indéniable. Philippe Dandin insiste sur les exigences que requiert l'analyse du climat. Il montre les points robustes et les incertitudes. Le recours à une mémoire du passé climatique s'avère essentiel pour aborder des projections.*

1) Directeur de la Climatologie Météo France, coordinateur du programme DRIAS (les futurs du climat)

La pertinence des prévisions météorologiques est parfois avancée pour inviter au scepticisme en matière de changement climatique et réfuter toute capacité de projection climatique. Il s'agit d'un argument spécieux, parmi d'autres, mais qui invite à bien comprendre la différence – et l'étroite liaison – entre météorologie et climat. Caractériser les évolutions climatiques et en attribuer une part à l'action de l'homme est possible, comme il est légitime de réaliser des projections pour le siècle à venir. Décrire le réchauffement climatique est possible, convaincre de son importance, de la rapidité de sa réalisation et surtout de la nécessité de s'adapter est plus difficile. Au sein de la communauté scientifique, Météo France travaille tout particulièrement sur le diagnostic, recourant à l'observation engrangée chaque jour depuis les débuts de la météorologie, et reconstruisant notre « mémoire du climat », nécessaire référence qui permet de réaliser et d'analyser les projections climatiques. Nous disposons d'outils de modélisation du climat, qui représentent non seulement l'atmosphère mais tous les autres compartiments du système terrestre : l'océan, les glaces, la végétation... Ces outils sont validés sur leur capacité de reconstitution du climat passé. La démonstration d'attribution d'une part du réchauffement aux activités humaines repose sur ces modèles : privés de gaz à effet de serre, ils ne parviennent pas à restituer les évolutions passées.

## Des évolutions à visualiser

Pour convaincre de ce que représente ce changement, il faut en illustrer les impacts dans les différents domaines. Les techniciens forestiers ou observateurs de l'environnement mesurent des évolutions, qu'il faut apprécier sur le long terme et se garder dans certains cas d'attribuer au changement climatique de façon trop simpliste ; pour nos concitoyens et nos élus, nous représentons par exemple les vagues de chaleur passées sous forme graphique, avec des bulles variant selon la durée et l'intensité des canicules. Cette même représentation est ensuite appliquée pour une projection climatique sur le XXI<sup>e</sup> siècle, et la seule comparaison visuelle du passé et du futur montre l'ampleur des impacts, et, espérons-le, invite à se préparer à y faire face.

Il demeure une vraie difficulté à transmettre le message et à guider les prises de décision dans un contexte d'incertitudes – la toute première étant liée aux quantités de gaz à effet de serre que l'humanité continuera d'injecter dans l'atmosphère, et qui définissent les scénarios climatiques que les climatologues doivent utiliser. Oui, le climat change sous l'influence de l'homme. Pour faire prendre conscience de l'évolution, pour utiliser pleinement ces projections climatiques, le besoin de qualifier le climat passé et de le représenter est important. Il faut également toujours penser aux échéances



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

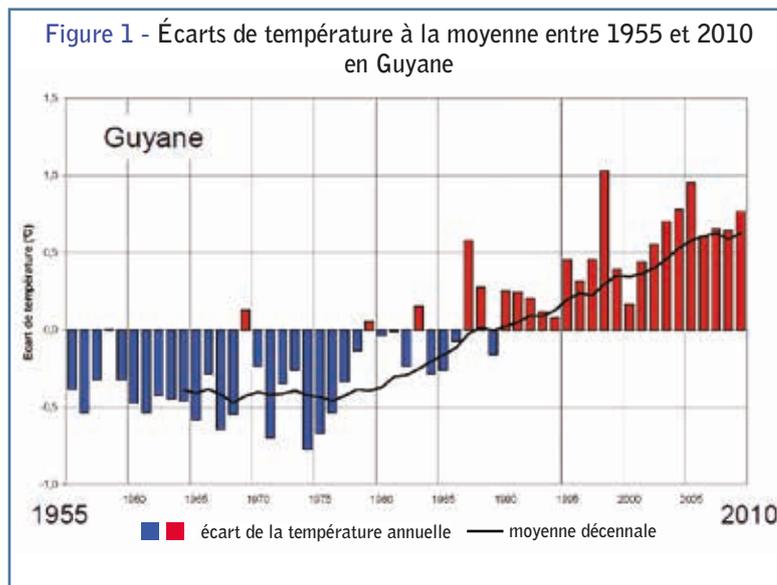
Le service Drias, les futurs du climat :  
[www.drias-climat.fr](http://www.drias-climat.fr)  
ou le site de l'ONERC : <http://onerc.org>

plus courtes et à la capacité de faire face aux aléas météorologiques : les échelles de temps des météorologues, comme celles des forestiers, sont multiples, et la tempête de la semaine prochaine tout comme les conditions climatiques de la deuxième moitié du siècle sont tout aussi importantes à considérer.

### L'importance du diagnostic

Le climat est avant tout variable et ce, à différentes échelles temporelles. Il fluctue notamment sur des périodes décennales à multi-décennales, qu'il convient de bien décrire. Cette variabilité invite en particulier à ne pas tirer de conclusion hâtive d'observations sur des périodes trop courtes. Ces précautions étant prises, de nombreux éléments provenant de secteurs différents forment un faisceau convergent qui renforce les diagnostics les plus solides, établis sur de longues périodes comme nous pouvons les construire en météorologie. L'ensemble montre une modification globale et durable du climat et des impacts significatifs. Nos collègues de l'Inra et d'autres chercheurs alertent sur l'importance du recueil de données actuelles pour pouvoir reconstituer des séries longues et complétées par les éléments enregistrés dans le passé. Auparavant, de nombreuses observations étaient notées en phénologie ou en ornithologie, comme la date du 1<sup>er</sup> chant du coucou. Ces observations sont précieuses aujourd'hui alors que nous manquons cruellement de recul historique : les forestiers doivent participer à cet effort et disposent nécessairement d'éléments qui seraient utiles aujourd'hui à la recherche climatique.

Il est important de documenter les variations sur une période assez longue pour pouvoir analyser le fonctionnement naturel et perturbé du climat. Dans le cas d'oscillations d'environ



30-40 ans, 150 ans représentent une durée à peine suffisante pour l'analyse. Grâce aux travaux de dynamiciens du climat associés à d'autres spécialistes, dont des historiens – Emmanuel Le Roy Ladurie en étant l'un des plus connus –, le croisement d'informations de différentes sources, mais qui toutes ont enregistré des facteurs météorologiques, permet de reconstituer des longues séries météorologiques et comprendre des événements passés. Nous pouvons ainsi qualifier les années les plus récentes dans une perspective longue : ainsi, sur l'ensemble du globe, l'année 2012 est l'année la plus chaude depuis 1850, (+ 0,45 °C par rapport à la période 1961-1990).

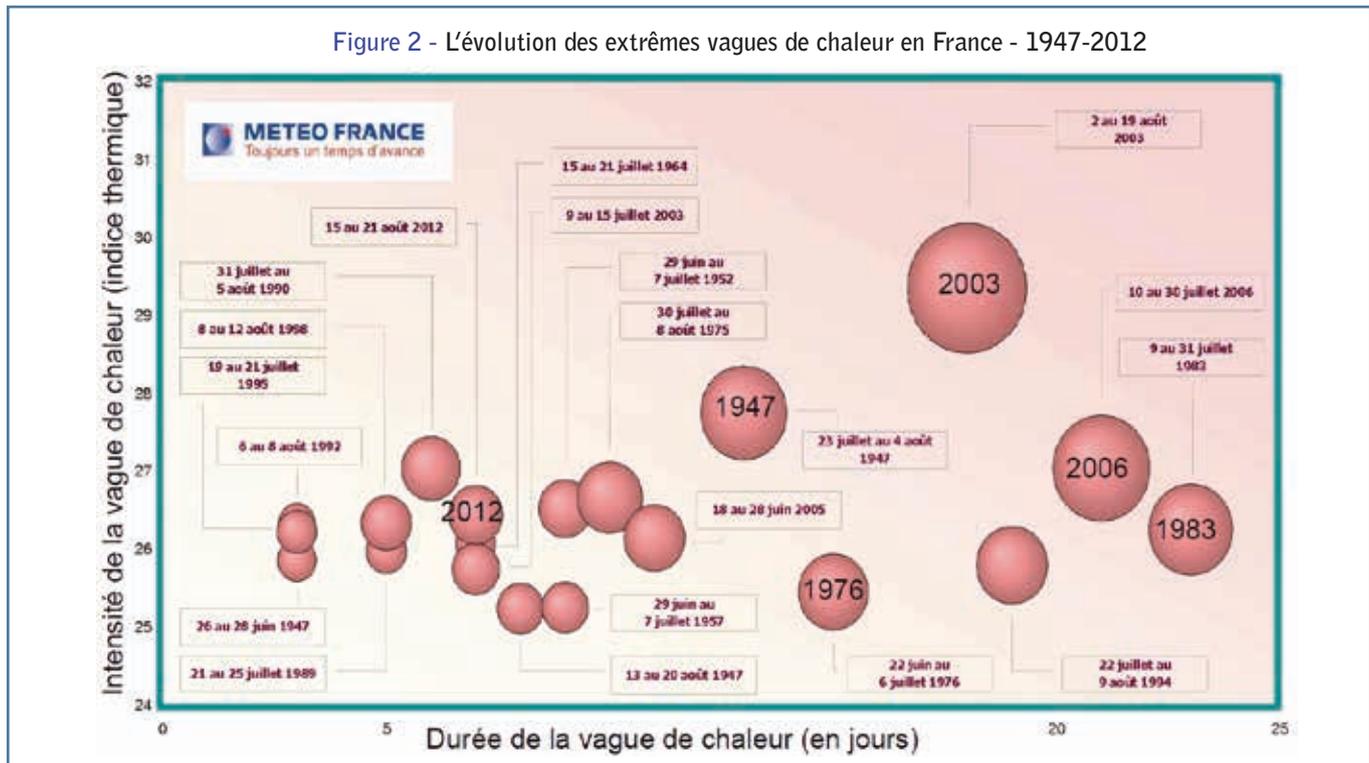
Le signal d'une croissance forte de la courbe du réchauffement se retrouve :

- sur les indicateurs de températures établis partout en France et dans le monde ; en Guyane par exemple, les écarts de température entre 1955-2010 montrent une croissance marquée depuis 1990 ;
- sur des indicateurs météorologiques standards comme le nombre de jours de chaleur ou de gel. (Figure 1)

**“Nous pouvons retenir que de nombreux indicateurs convergents confirment l'évolution et un réchauffement du climat.”**

Les tendances doivent être extraites de séries « homogénéisées », c'est-à-dire ayant fait l'objet d'un traitement de qualité avancée. Attention en effet : l'emploi de données brutes, n'ayant subi qu'un contrôle qualité au quotidien, peut conduire à des erreurs introduites par les évolutions des conditions de mesure (environnement, protocoles ou changements d'instruments).

Figure 2 - L'évolution des extrêmes vagues de chaleur en France - 1947-2012



Pour nos concitoyens et nos élus, nous représentons les vagues de chaleur passées sous forme graphique, avec des bulles variant selon la durée et l'intensité des canicules.

### L'évolution des précipitations

L'observation des variations saisonnières sur un siècle montrent une tendance à l'augmentation des précipitations en moyenne sur l'année, avec une baisse estivale et une augmentation hivernale. Cela se traduit par une plus grande saturation des sols en eau l'hiver, et à l'inverse des sols encore plus secs en été. Les projections pour les précipitations sont plus incertaines que pour les températures, où le signal est très net, mais les tendances annoncées se rapprochent des éléments constatés sur le siècle passé.

Il faut noter que demeurent des territoires en France où le diagnostic sur le XX<sup>e</sup> siècle n'a pas été possible, selon les standards élevés de qualité que requiert la détection des évolutions climatiques. Les séries disponibles ne permettent que d'aboutir à des conclusions floues ou fournissent des signaux qui ne sont pas assez significatifs du point de vue statistique (départements blancs ou flèches obliques sur les cartes). (Figure 4) Météo France travaille donc à parfaire le diagnostic, notamment pour les précipitations.

### Des sites Internet dédiés

Tous ces indicateurs sont publiés sur le site de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, l'ONERC. Souvent, y compris en météorologie pour les raisons de disponibilité de données de qualité, la durée présentée est trop courte (depuis 1960). Enfin, d'autres signaux sont moins explorés, comme l'augmentation de la variabilité des températures maximales : on observe pourtant une

augmentation de la variabilité du temps avec des décalages de saisons par exemple, et d'autres déphasages, qui impactent tout autant l'environnement que ne le font les changements de valeurs extrêmes de température, de précipitation ou d'insolation.

Tous ces indicateurs sont standards pour les climatologues, mais pas nécessairement les plus adaptés à tel ou tel secteur d'activité. Le dialogue est donc indispensable pour construire les informations qui soient utiles.

Quels sont les paramètres qui intéressent les forestiers ? Quels aspects du climat comptent vraiment ? Les agronomes de l'Inra s'intéressent aux accumulations et aux combinaisons d'effets. Il faut également garder à l'esprit l'importance des différentes échelles de temps, et se prémunir d'un futur plus chaud qui ne sera atteint qu'année après année, avec des épisodes météorologiques pouvant toujours présenter des caractéristiques très froides (l'exemple issu d'un dialogue récent avec un responsable des jardins de Toulouse, de l'échec des plantations subtropicales en région toulousaine, du fait des vagues de froid et des sécheresses récentes, montre la difficulté des conjonctions des perspectives temporelles.).

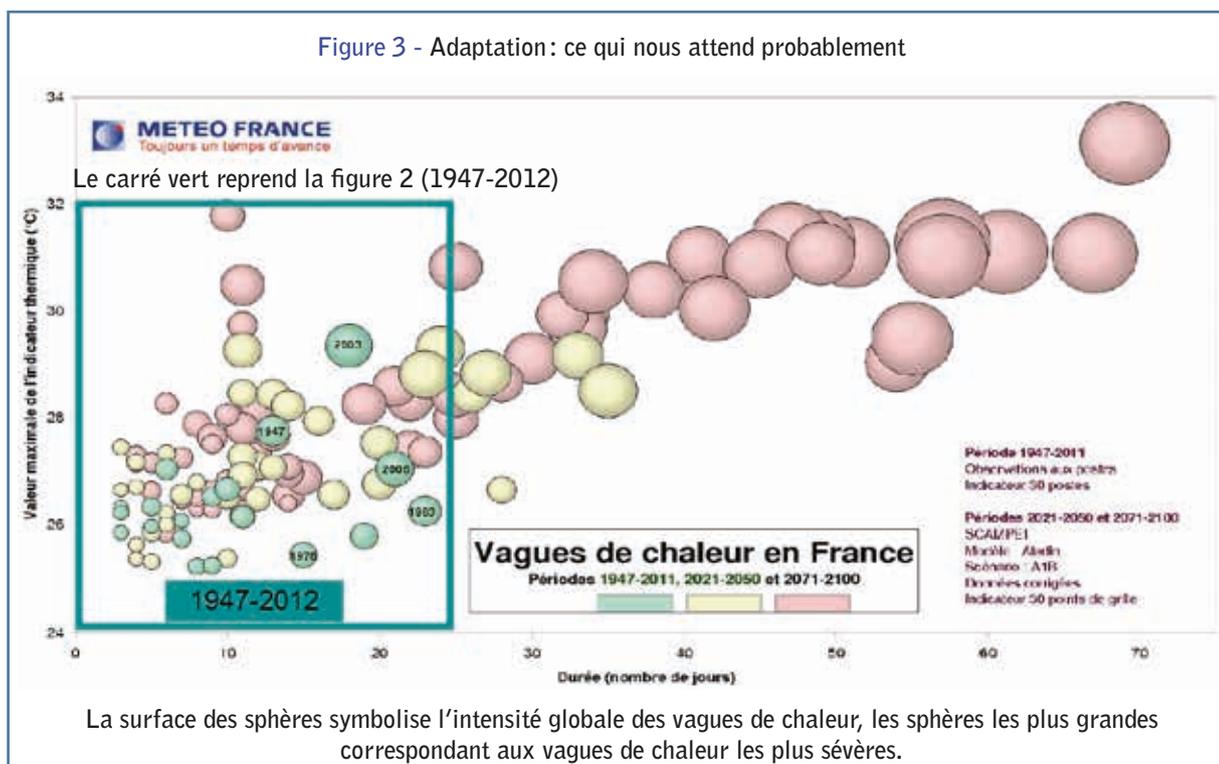
### Projections climatiques

Le GIEC<sup>2</sup> utilise pour ses analyses les résultats des modélisations réalisées avec plusieurs scénarios d'émission de gaz à effet de serre, qui dépendent des choix que fait et fera l'humanité. Ces différentes projections couvrent le

<sup>2</sup> Representative Concentration Pathways (RCPs): quatre trajectoires d'évaluation de la concentration (et non des émissions) des gaz à effet de serre, adoptées par le GIEC pour son cinquième rapport d'évaluation (AR5).

<sup>3</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Figure 3 - Adaptation : ce qui nous attend probablement



XXI<sup>e</sup> siècle. La présentation des résultats est faite par rapport à une référence initiale fixée aux années 1961-90. Nous sommes actuellement sur la trajectoire pessimiste du rapport précédent. Ainsi, la crise mondiale de 2009-2010 a conduit à une légère inflexion des émissions de carbone, mais depuis, la trajectoire a repris son inflexion haussière antérieure.

Le prochain rapport du GIEC utilisera d'autres présentations des scénarios. Avant, on évoquait une concentration de gaz à effet de serre (GES), due aux pollutions et activités humaines. On parlera désormais de forçage radiatif dans l'atmosphère, le terme RCP<sup>□□</sup> apparaîtra, mais la chronique annoncée demeure identique.

Une des questions souvent posées est celle du changement climatique « à courte échéance », c'est-à-dire pour l'horizon 2020, décisif pour de nombreux choix économiques et plus proches de nos capacités de perception des enjeux. C'est une des difficultés et un des enjeux de la science climatique que de pouvoir fournir des prévisions décennales : autant les scénarios d'émission imposent une réponse au système, autant à ces échéances courtes, on se retrouve dans un vide prédictif lié à la variabilité du climat. Une des difficultés réside, encore, dans le manque de recul historique sur les données terrestres mais aussi, et notamment, océaniques. On ne connaît que très peu l'historique des évolutions océaniques, encore moins pour l'océan profond, alors qu'il s'agit d'un des déterminants majeurs du système à l'échelle globale.

## Reconstruire l'histoire du climat

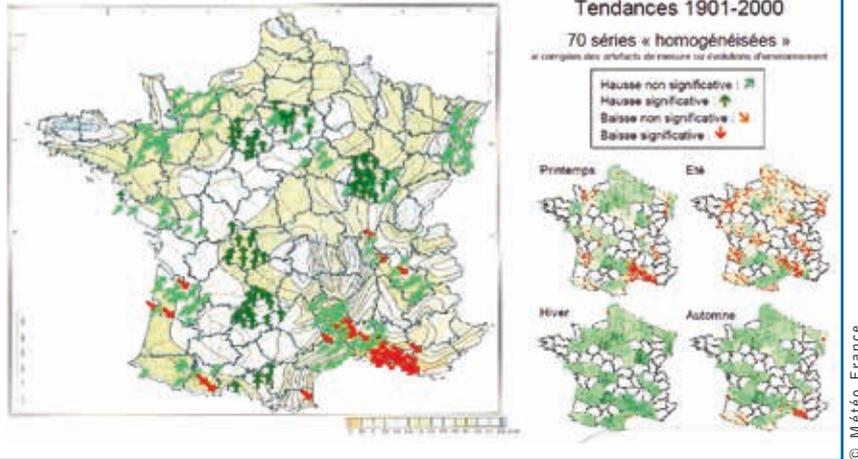
Les météorologues recherchent les observations anciennes qui n'ont pas encore été numérisées pour allonger les séries et conforter les diagnostics. Si le besoin de données est grand, il ne faut pas oublier d'en récupérer les « modes d'emploi » et tenir compte de la façon dont ces informations ont été obtenues (type d'appareil, emplacement...). Une opération d'envergure, action du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, est en cours actuellement : Météo France et les Archives nationales, soutenues par la Fondation BNP Paribas, extraient et analysent des milliers de cartons d'archives météorologiques, pour parfaire notre connaissance du climat passé.

C'est la mission de Météo France et une contribution à la recherche sur le climat au côté des autres organismes de recherche qui se consacrent aux périodes plus anciennes : reconstruire la mémoire du climat, pour être capable de décrire toutes les échéances temporelles du climat de la planète sur presque un million d'années. Les météorologues sont chargés de la période météorologique instrumentée. Une des applications de telles ré-analyses sert, par exemple, à qualifier la ressource en eau au quotidien de 1958 à 2008 sur tout le territoire.

Ainsi, Météo France peut-il détecter et alerter les autorités chargées de la gestion de l'eau quand la situation se rapproche de seuils critiques ou de records, ou bien au contraire confirmer qu'elle reste dans la norme. Cet effort de reconstruction des chroniques passées et événements extrêmes est essentiel, car il permet de situer ce qui se passe actuellement dans une référence connue : elle l'est pour les hydrologues, mais également pour les forestiers et pour tous les secteurs impactés par la météorologie et le climat. Comme pour la ressource en eau et les sécheresses, un travail similaire de reconstruction et ré-analyse du passé est actuellement entrepris sur les tempêtes, autre facteur déterminant pour les forêts.

Figure 4 - Un siècle d'évolution des précipitations

Atlas climatologique, 1920. Bureau Central de la Météorologie.  
Nombre moyen de jours de précipitation > 0,1 mm



## Des modèles climatiques plus fins

À partir des modèles de climat global, on calcule des modèles climatiques ayant des résolutions spatiales allant de 50 km à désormais 12 km. Météo France et les autres groupes de modélisation français fournissent actuellement des projections corrigées grâce aux données analysées du passé, avec un pas de 8 km. Cette descente d'échelle est établie avec des hypothèses fortes. Des séries de choix induisent une cascade d'incertitudes. Il faut en tenir compte lors de l'utilisation des résultats des projections et ne pas prendre au pied de la lettre les valeurs d'un point de grille ou d'un pas de temps donné.

Si les climatologues ont parfois tendance à trop insister sur les incertitudes, il existe cependant dans les projections, des résultats qui sont majeurs et extrêmement robustes. Ainsi, les résultats sur la température et sur la ressource en eau doivent être considérés avec une très grande attention.

L'analyse des évolutions doit d'abord être globale puis se rapprocher des échelles locales ; elle doit prendre en compte les divers scénarios d'émission, ainsi que les solutions qui varient d'un modèle à l'autre, ou d'une méthode à l'autre. La communauté française s'efforce de réaliser désormais des études coordonnées, afin que les protocoles suivis soient aussi similaires d'un groupe à l'autre. Cette cohérence, mise en œuvre et disponible désormais *via* le portail « *Drias, les futurs du climat* » renforce la capacité de travail à l'échelle locale.

Le réchauffement moyen oscillera de + 2 °C à 4-5 °C et variera naturellement suivant l'altitude en France. Dans notre climat, un gradient de + 1 °C équivaut à environ 200 km en nord-sud : ces valeurs projetées situent donc le climat de Perpignan à Dunkerque en 2100. L'anomalie de l'année 2011, + 1,8 °C, est un

début d'illustration de ce futur qu'il faut désormais regarder avec attention. Compatible avec ce que l'on prévoit du changement climatique, en est-elle pour autant une preuve ? Attention à ne pas aller trop vite en besogne et attribuer un constat ou un événement extrême singulier au changement climatique. Bien que la recherche avance fortement dans ce domaine, ces preuves doivent être établies avec une grande rigueur.

Les déphasages peuvent être plus impactants que les modifications d'amplitude des paramètres. Le glissement de saison peut être catastrophique pour des espèces qui ne peuvent pas suivre les modifications du temps ni le rythme d'évolution climatique : par exemple, la truite disparaît en France, à cause des eaux trop chaudes mais aussi des pics de fonte, des étiajes et des niveaux d'eau modifiés, comme en avril 2011 ; de même les papillons et les oiseaux peinent à suivre la migration vers le nord des conditions climatiques.

## Quelques exemples pour les forestiers

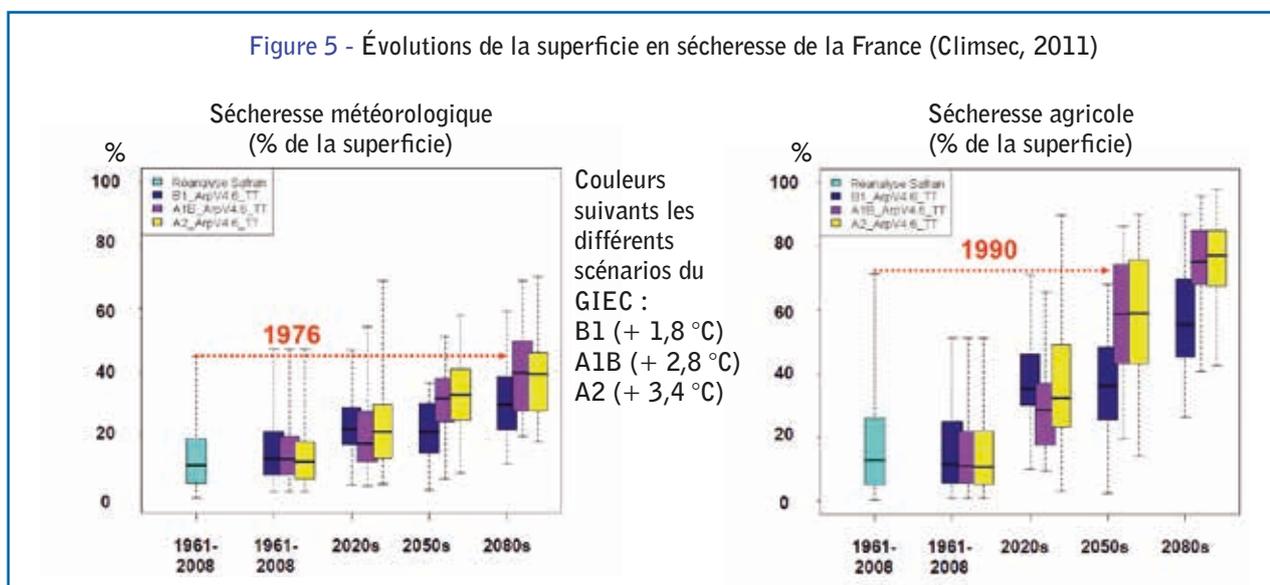
Les projections sur les précipitations sont plus délicates. La tendance devrait être à une diminution des précipitations estivales, avec des disparités régionales. La diminution s'appréciera surtout dans la partie sud du pays et en été. Des différences apparaissent entre l'hiver et l'été, avec une incertitude plus grande sur les précipitations en hiver. Il faut surtout retenir à ce stade une tendance à plus de sécheresses estivales.

Les projections pour les vents sont encore plus difficiles. La précédente génération de simulations coupait la France en deux, Nord-Sud, maintenant la limite paraît plus oblique... La circulation des tempêtes à nos latitudes est complexe et dépend de nombreux facteurs globaux, moins faciles à cerner que la température...

Un des éléments des plus robustes dans les prévisions est la récurrence probable des sécheresses, tant météorologiques (déficit de pluie) qu'agricoles (ou édaphiques, marquées par un déficit de la ressource en eau des sols superficiels). (Figure 5)

La sécheresse est en effet déterminée par la température et par l'évapotranspiration, elle-même dictée par la température – les incertitudes sur les évolutions des précipitations s'effacent devant le facteur thermique. Un travail récent de représentation de l'évolution des sécheresses passées et futures (pro-

Figure 5 - Évolutions de la superficie en sécheresse de la France (Climsec, 2011)



© Météo France

jet ClimSec soutenu par la Fondation MAIF) montre à partir de quand, il est probable de retrouver au XXI<sup>e</sup> siècle des déficits de précipitations similaires à ceux connus en 1976 ou 1990. Les résultats pour la 2<sup>e</sup> moitié du XXI<sup>e</sup> siècle sont frappants: en 2100, 80 % du territoire pourrait ainsi être en état de sécheresse toute l'année. Ce résultat, comme ceux obtenus pour la température, montre qu'il faudra alors nécessairement avoir un autre mode de vie, et qu'il faut se préparer dès à présent.

## Diffusion de l'information

Faciliter l'accès à ces informations sur notre climat et notre environnement est un aspect essentiel de la démarche d'adaptation. Une autre action importante du Plan national d'adaptation au changement climatique, portée par Météo France avec les laboratoires de modélisation climatique français du CERFACS, CNRM et IPSL a consisté à ouvrir un service de mise à disposition des scénarios. Tous les résultats des scénarios climatiques futurs sont disponibles sur le nouveau site « *Drias, les futurs du climat* » pour favoriser des prises de conscience et contribuer au développement des capacités d'étude.

Les décideurs et tous nos concitoyens, les professionnels des bureaux d'étude et les chercheurs ont tous un accès identique à l'ensemble des résultats numériques, à des indicateurs qui mettent en lumière les principales évolutions, à des informations pour expliquer comment exploiter et analyser ces éléments qui mêlent connaissances du passé et projections futures. Un service d'accompagnement, sous forme de *hotline* à laquelle on peut poser des questions auxquelles répondront les spécialistes de Météo France et des laboratoires est également disponible pour faire de Drias un véritable service climatique français.

## Quand commence-t-on à s'adapter ?

Maintenant et tous les jours !

La culture des forestiers les prédispose à anticiper ; se préparer au risque s'apprend, se construit tous les jours dans une démarche d'évaluation de ses vulnérabilités face aux aléas immédiats de la météorologie, et désormais face aux évolutions du climat. Toutes les échelles de temps doivent être prises en compte, car elles impactent autant nos activités: pour la forêt, il importe autant de gérer une tempête qu'un futur où la ressource en eau sera comptée et où les températures seront nettement plus élevées qu'aujourd'hui.

Comment se préparer et rendre la forêt résiliente, aussi résistante que possible à ces aléas et à l'incertitude qui les accompagne ? À chaque secteur et corporation d'y réfléchir: les météorologues et climatologues, avec les spécialistes de la forêt, des essences, des filières économiques associées, sont là pour contribuer à cette impérieuse réflexion.

En tant que citoyens éduqués, et techniciens avertis, nous avons le devoir d'agir, et de communiquer autour de nous. ■

### Résumé

De nombreux et convergents signaux de réchauffement climatique existent. Météo France établit des diagnostics et analyses à partir de l'observation et de la reconstitution du climat passé. Des projections à partir de modèles fiables précisent des tendances de variations de précipitations, de fréquences d'événements extrêmes comme les sécheresses. Ces informations sont accessibles sur les sites Drias ou ONERC.

**Mots-clés :** climat, réchauffement, projections, France.

# Forêts et changement climatique, quelques éléments issus de la recherche

Par Jean-Luc Dupouey<sup>1)</sup>



1) Inra-Université de Lorraine, UMR Écologie et Écophysologie forestières

L'impact potentiel du changement climatique sur les forêts est une préoccupation récente chez les gestionnaires, mais déjà ancienne chez les scientifiques. Les premiers travaux sont publiés dès le début des années 1980, aux États-Unis surtout. Avec le premier rapport du GIEC, en 1990, la problématique se diffuse dans l'ensemble de la communauté scientifique internationale. C'est dire l'immense littérature déjà publiée sur le sujet.

Nous aborderons successivement les impacts du changement climatique sur les forêts, l'adaptation assistée par l'Homme de la forêt et le rôle d'atténuation que joue la forêt vis-à-vis du changement climatique.

## Les impacts et l'adaptation naturelle

On peut arbitrairement classer les réponses naturelles des arbres et des forêts au changement climatique en quatre grandes catégories : l'accommodation et l'adaptation génétique, la migration et la mortalité.

### L'accommodation

C'est la gamme des modifications morphologiques et physiologiques que peut mettre en place un organisme, avec un génome donné, face au changement climatique. Son amplitude dépend de ce qu'on appelle la plasticité phénotypique.

Les réactions, qui ont été les plus étudiées, sont celles dues à l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, principal gaz responsable de l'augmentation de la température. En serre, l'augmentation du taux de dioxyde de carbone de 350 à 700 ppm (parties par million) entraîne une augmentation de la productivité des jeunes plants d'environ 30 %. Ce taux de 700 ppm pourrait être atteint avant la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Mais il reste aujourd'hui très difficile d'intégrer dans ces expérimentations la hauteur et la longévité des arbres, et les nombreuses interactions (climat, nutrition minérale, pathogènes et ravageurs...) qui caractérisent le milieu forestier. La synthèse de 4 dispositifs de type « FACE » (enrichissement en CO<sub>2</sub> en plein air), sur des forêts encore jeunes et avec une augmentation de 200 ppm seulement, indique une réponse

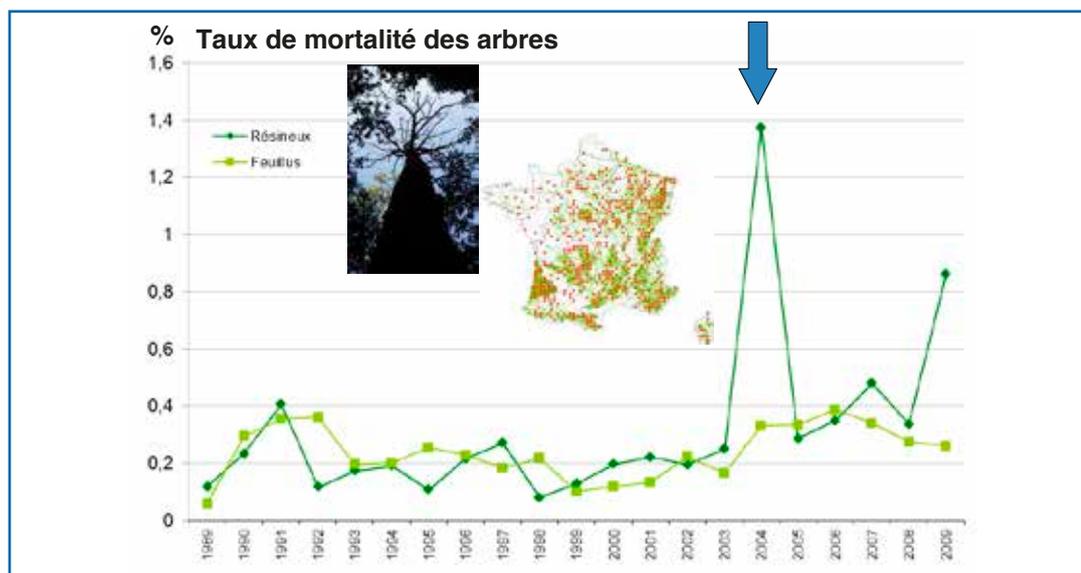
positive de la production de + 30 %, équivalente à celles observées en serre avec une augmentation de 350 ppm. Ce résultat pourrait indiquer que la réponse de la production à l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique sature pour des niveaux assez bas de CO<sub>2</sub>. Lors d'un stress hydrique ou minéral, le rôle « fertilisant » du CO<sub>2</sub> atmosphérique est fortement réduit. Pour un niveau de sécheresse donné, l'augmentation du CO<sub>2</sub> permet une réduction de la consommation en eau des arbres, jouant un rôle « anti-transpirant ».

L'accommodation au changement climatique la plus connue est la modification de phénologie des plantes. Quelques arboretums européens, notamment allemands, ont bénéficié d'observations régulières sur de longues périodes. Depuis 1970, on y observe une augmentation de la durée de la saison de végétation d'une dizaine de jours, avec près d'une semaine d'avance de la date de débourrement des arbres et un recul, plus faible, de la chute des feuilles. Les séries de mesures satellitaires de la couleur des forêts de l'hémisphère nord le confirment.

**« Cette modification de la phénologie est l'un des constats les plus marquants et consensuels des effets du changement climatique sur les arbres »**

Observe-t-on déjà des changements de productivité des forêts ? Dans les années 1980, Michel Becker, à l'Inra de Nancy, a mis en évidence une augmentation forte et générale (en France) de la croissance radiale des arbres au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Si les diverses causes possibles ont été rapidement identifiées (augmentation du CO<sub>2</sub>, des températures, donc de la durée de végétation, des dépôts d'azote qui fertilisent les sols ou arrières-effets des changements anciens de l'usage des sols), on ne connaît toujours pas la part relative de chacune. Récemment, Jean-Daniel Bontemps a confirmé ces tendances croissantes pour la croissance en hauteur.

Les dernières décennies, depuis 1980, montrent des évolutions de croissance différentes selon les espèces et les régions. Le chêne pubescent connaît une baisse régulière de sa croissance, confirmée par les obser-



© Département de la Santé des Forêts, 2006

La canicule-sécheresse de 2003 a provoqué en 2004 une augmentation brutale de la mortalité des résineux, bien observée dans les placettes du réseau du Département de la Santé des Forêts (10 800 arbres, 540 placettes).

vations inquiétantes sur son état de santé dans le réseau du Département de la Santé des Forêts (DSF). La croissance de l'épicéa à l'inverse augmente régulièrement. L'année 2003 a marqué une inflexion à la baisse de la croissance pour beaucoup d'espèces.

### La migration

La « migration » est le résultat d'événements de colonisation couronnés de succès au nord ou à la limite altitudinale supérieure de l'espèce et/ou de mortalité dans la partie sud ou de basse altitude de son aire de répartition. Elle peut éventuellement se faire en une génération chez les animaux, ce qui n'est pas possible chez les plantes, fixées. Le déplacement des espèces devrait être plus rapide en montagne, car le gradient de température y est mille fois plus élevé qu'en plaine : 0,6 °C/100 m en montagne, 0,6 °C/100 km en plaine française. Le noir et *al.*, (2008) ont constaté en effet qu'au cours des dernières décennies, la majorité des espèces herbacées forestières ont montré une augmentation de leur altitude moyenne. Cependant, l'amplitude du déplacement est plus faible qu'attendue et ne suit pas la vitesse du changement climatique.

De plus, la forêt progresse en altitude en raison d'abandons pastoraux, et se ferme en basse altitude en raison d'une maturation des peuplements, ce qui crée aussi des mouvements apparents des espèces qui peuvent être confondus avec ceux dus aux changements climatiques.

Plus facile à interpréter est l'expansion vers le nord de la chenille processionnaire du pin depuis les années 1980 : les gels hivernaux, qui ont fortement diminué en longueur et sévérité, sont déterminants pour la survie de l'espèce. Elle vient d'atteindre la région parisienne.

### La mortalité

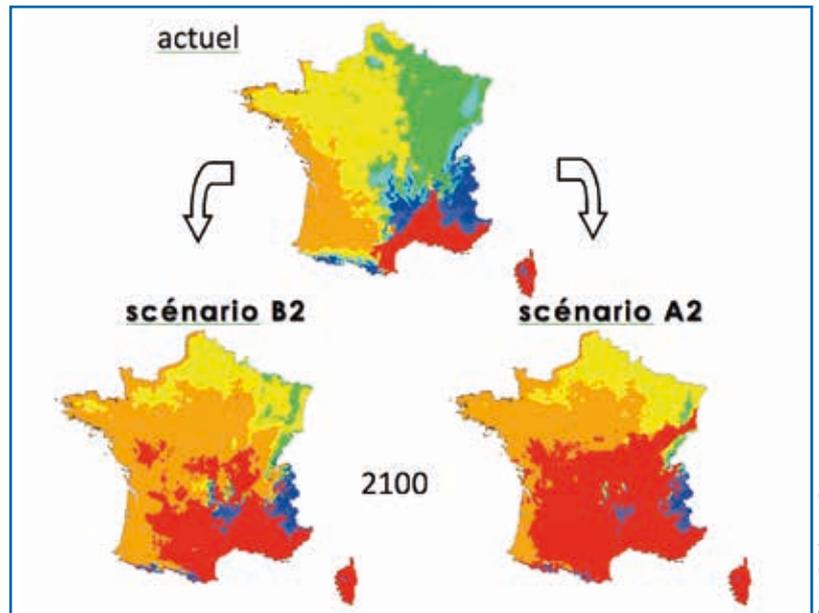
Lorsque les limites de l'accommodation sont dépassées, les individus meurent. Le réseau du DSF fournit l'état des houpiers et le taux de mortalité annuel par espèces. Depuis 1989, le taux de mortalité a varié autour de 0,2 %. Il est monté brutalement à 1,3 % pour les résineux en réponse à la canicule de 2003, soit une multiplication par six. La réaction peut aussi être étalée sur de nombreuses années, comme suite à la sécheresse de 1976, dont les effets furent en partie confondus avec ceux de pluies acides. L'année 2003 est considérée, dans les scénarios climatiques du futur, comme une année moyenne, voire fraîche en 2100. De nombreuses essences sont appelées à disparaître de la forêt française si une canicule-sécheresse comme celle de 2003 revient effectivement une année sur deux.

Les incendies seront aussi plus fréquents, en particulier au nord de la région méditerranéenne. En 2003, on a observé dans cette région une multiplication par quatre de la surface incendiée par rapport à la moyenne 1996-2001.

### L'adaptation génétique

Elle nécessitera plusieurs générations d'arbres. Mais les réponses adaptatives des populations peuvent parfois être rapides. Pour le chêne rouge par exemple, Daubrée et Kremer (1993) ont observé une différenciation génétique des dates de débourrement dans les populations françaises par rapport à ses populations d'origine. De plus, on a remarqué pour plusieurs essences que les provenances sont adaptées à des climats un peu plus chauds que celui dans lequel on les trouve, et de nombreux indices montrent que l'aire de présence potentielle des espèces ligneuses est plus grande

Projection de l'aire climatique de quelques grands biomes de la forêt française. Le biome méditerranéen (en rouge) s'étend fortement, plus ou moins selon les scénarios climatiques (voir Badeau et al., 2005, pour la description de chaque unité biogéographique).



que l'aire aujourd'hui réalisée. Les limites précises de l'adaptation génétique aux variations climatiques restent cependant mal connues. Une partie des réponses à cette question viendra des plantations comparatives. Malheureusement, il n'existe que peu d'expérimentations installées hors de l'aire de production des essences et peu de provenances extrêmes dans les dispositifs existants.

## Des modèles pour le XXI<sup>e</sup> siècle

Une cascade de modèles (politique de l'environnement et du développement, économie des sociétés, technique de mise en œuvre des énergies, physique de l'atmosphère, fonctionnement de la biosphère) permet d'établir une gamme de scénarios climatiques pour le futur. Des prédictions exactes sont évidemment impossibles.

On peut retenir, pour la forêt française :

- une augmentation des températures entre 1,7 °C et 6 °C d'ici 2100,
- pas de tendance cohérente entre modèles climatiques pour les précipitations,
- l'augmentation de la durée et de l'intensité des périodes de stress hydrique et du risque incendie,
- l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes.

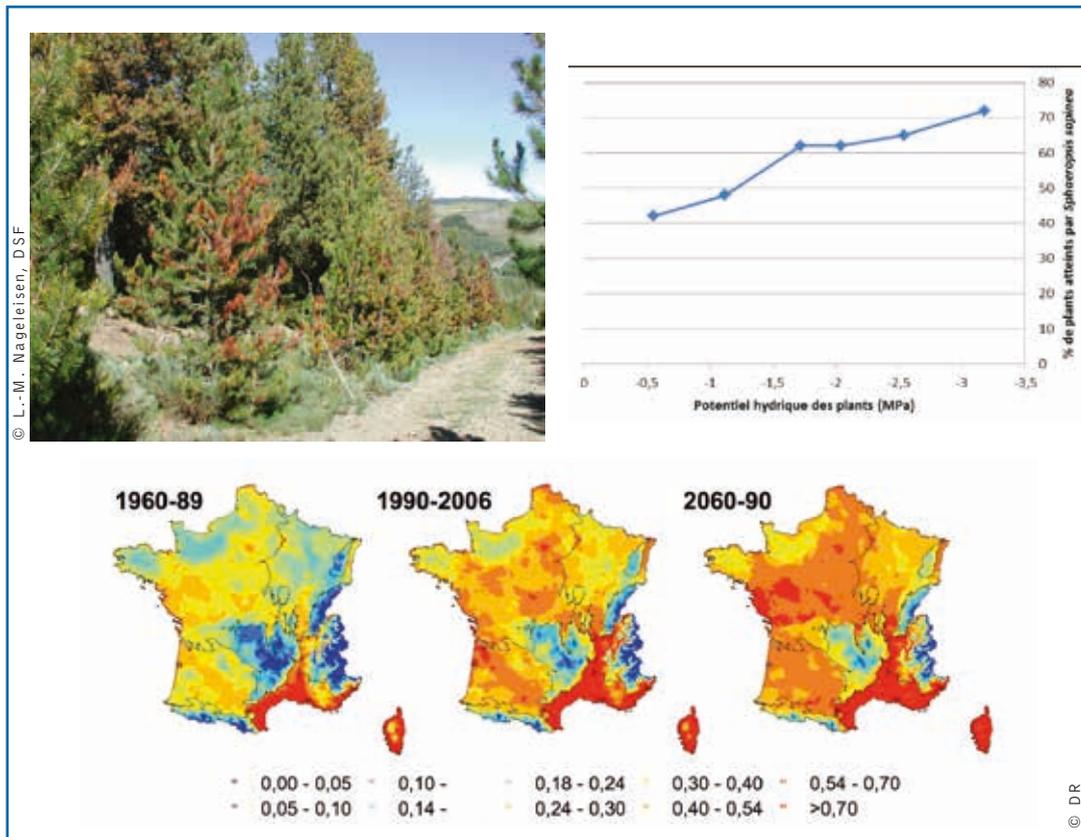
Ces scénarios s'affinent au niveau spatial, avec des mailles aujourd'hui de 8 km (50 km, il y a quelques années), qui permettent de mieux tenir compte d'une variabilité géographique très significative.

À partir de ces scénarios climatiques, on peut étudier l'évolution à venir de l'aire climatique potentielle des essences. On utilise entre autres des modèles dits « de niche » qui, dans un premier temps, caractérisent le domaine écologique actuel de présence des espèces puis le projettent dans les scénarios

climatiques pour déterminer leur localisation géographique future. Avec Vincent Badeau, nous avons appliqué cette approche non pas aux espèces prises individuellement, mais en les regroupant en groupes biogéographiques (*Figure ci-dessus*). Dans les scénarios modérés (B2), le biome subméditerranéen (caractérisé par le chêne pubescent) occupe potentiellement tout le Sud de la France à la fin du siècle, jusqu'à la Loire. Dans les scénarios d'augmentation plus rapide de la température (A2), il atteint l'Alsace.

Mais l'Homme a largement favorisé, pendant des siècles, certaines espèces au détriment d'autres (les chênes sessile et pédonculé au détriment du hêtre par exemple). Leur aire de répartition observée est donc une représentation biaisée de leur aire climatique potentielle actuelle, ce qui fausse ces modèles de niche. Si l'évolution à venir des aires de répartition a été largement étudiée, la cartographie de l'évolution des productivités forestières, qui serait très pertinente pour la gestion, a été beaucoup moins souvent réalisée. Au vu de la progression des biomes méditerranéens, on peut s'attendre, au terme du XXI<sup>e</sup> siècle et en plaine, à une baisse généralisée de la croissance des grandes essences de la forêt tempérée, même si certaines espèces thermophiles (pin maritime par exemple) pourraient connaître une première phase temporaire d'augmentation.

Ces modèles « statistiques » de niche ont été comparés avec des modèles plus mécanistes, qui ne se basent pas uniquement sur la distribution actuelle des espèces, mais aussi sur nos connaissances de la physiologie des espèces. La prise en compte des rôles fertilisant et anti-transpirant de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans ces modèles les rend moins pessimistes que les modèles de niche. Le hêtre par exemple régresse beaucoup moins avec ce type modèle. Mais les mécanismes représentés dans ces modèles à



En haut à gauche : pins noirs attaqués par *Sphaeropsis sapinea* en Cerdagne. En haut à droite : les attaques sont plus fréquentes sur les plants stressés (Stanosz et al., 2001). En bas : la modélisation de l'aire de distribution de l'espèce selon ses exigences climatiques montre que ce champignon, qui a déjà progressé à la fin du XX<sup>e</sup> siècle, pourrait voir son extension s'accroître encore en raison de l'augmentation prévue de la fréquence et de l'intensité des stress hydriques au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, (Benoît Marçais, communication personnelle).

base écophysiole le sont encore souvent de façon trop incomplète.

Les aires de distribution réalisées en 2050 ou 2100 dépendront d'autres facteurs qui ne sont pas encore tous pris en compte dans les modèles : capacité de migration, interactions avec les pathogènes et ravageurs, compétition entre espèces, adaptation génétique. Les exigences climatiques des pathogènes ne sont pas forcément identiques à celles de leurs hôtes actuels. Certains seront favorisés par le réchauffement climatique. *Sphaeropsis sapinea*, par exemple, est un champignon responsable d'une maladie émergente, inconnue en 1970 et aujourd'hui l'une des principales maladies sur les pins (sylvestre, noir, Monterey). Comme il bénéficie des périodes de stress hydrique, son impact devrait continuer à augmenter. Les insectes sous-corticaux et foliaires profiteront aussi des sécheresses accrues. À l'inverse, certaines pathologies telles que la chalarose du frêne ou le chancre bactérien du peuplier sont limitées par les fortes températures. Les maladies foliaires comme la maladie des bandes rouges des pins ont besoin de périodes chaudes et humides pour infecter les feuilles et pourraient être défavorisées par une moindre pluviosité estivale. L'évolution future des précipitations, paramètre clef pour de nombreuses espèces de champignons, est cependant encore très incertaine.

## L'adaptation assistée

Nos connaissances sur le climat futur et sur le devenir des forêts sont encore très limitées. De

plus, nous avons collectivement des difficultés à accepter le peu que nous en savons. Pour ces deux raisons, les réseaux d'observation ont un rôle fondamental à jouer, car eux seuls nous permettront de suivre la dynamique des écosystèmes forestiers : DSF, Renecofor, IFN/IGN mais aussi la toile tissée par les réseaux d'arboretums, les réseaux de recherche, d'expériences, les rééchantillonnages de placettes temporaires... tous encore bien trop fragiles aujourd'hui.

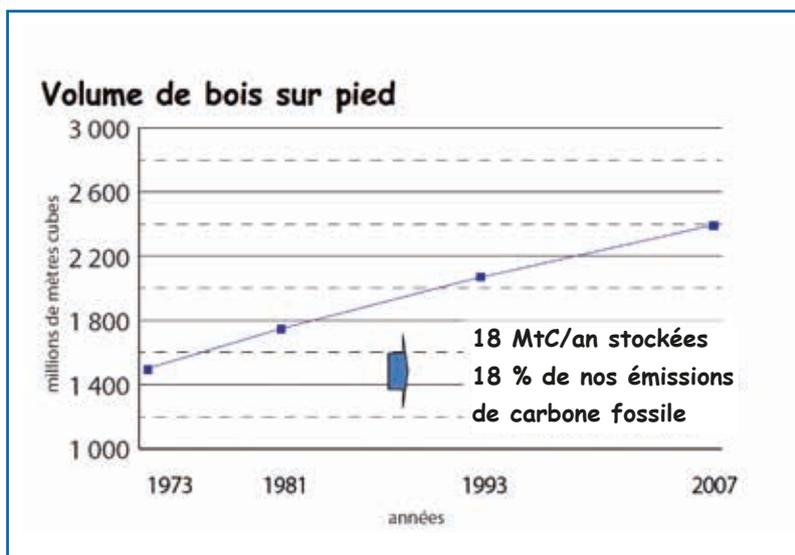
Rechercher une meilleure adaptation du choix des essences aux stations est une évidence. Chêne pédonculé et épicéa sont des exemples d'essences qui ont été largement trop étendues au-delà de leur optimum climatique et pédologique. Favoriser les peuplements mélangés relève de la même prudence. Adopter une sylviculture plus économe en eau, de façon à diminuer l'indice foliaire et donc réduire la transpiration des peuplements.

Raccourcir les révolutions. Des révolutions longues augmentent le niveau d'exposition aux aléas, et l'âge est parmi les facteurs majeurs prédisposant à de nombreux types de dépérissements car les arbres âgés ont une moindre capacité de résistance et de récupération. Ce raccourcissement aura cependant des incidences négatives sur la fertilité des sols et sur la biodiversité.

Augmenter la qualité de la nutrition minérale des arbres leur permet en général de mieux résister aux aléas, climatiques en particulier.



← **Vitesse de déplacement nécessaire pour que la végétation retrouve en 2100 un climat analogue au climat actuel, dans l'hypothèse d'un scénario moyen (A1B, + 3 °C). Dans les plaines de l'ouest et du centre de la France, la vitesse de déplacement nécessaire est supérieure aux capacités de dispersion de nombreuses espèces forestières (Badeau & Dupouey, non publié).**



← **Les forêts françaises, parce que leur surface et leur volume à l'hectare augmentent rapidement, séquestrent une part importante de nos émissions de carbone fossile (données de volume : IFN, données de carbone pour la période 1984-1996 : Dupouey et al., 2010).**

tèmes sylvicoles actuels, souvent sur-stockés en bois, sont convertis durablement en des systèmes plus efficaces en production, mais souvent à plus faible volume moyen de bois à l'hectare. Par exemple transformer des surfaces forestières et des filières de production mixte de bois d'œuvre et d'énergie en systèmes principalement orientés vers la production d'énergie seule entraîne, dans un premier temps une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Cette dette n'est effacée qu'au bout de quelques dizaines à centaines d'années, selon les types de système envisagés.

## Conclusion

Les nombreux changements déjà observés ne peuvent pas tous être attribués sans ambiguïté au changement climatique. Les réseaux d'observations devront continuer à fonctionner et, mieux, s'étendre pendant tout le siècle à venir si l'on veut pouvoir mieux détecter les impacts du changement en cours.

Les marges de manœuvre pour l'adaptation sont réduites. Les limites de l'accommodation seront rapidement atteintes, comme le montre l'épisode 2003. Le rôle de l'adaptation génétique sera faible à court terme. Le changement ne se fera pas progressivement, mais probablement par paliers, marqués par des épisodes de dépérissement importants. Il faut donc se préparer à d'éventuelles situations de crise. Des plans d'actions adaptés (reboisement entre autres) devront être scénarisés. Notre histoire forestière est jalonnée par de tels événements de prise en charge de la forêt par la collectivité, RTM et FFN par exemple.

Plus inquiétant, plus de vingt ans après l'élaboration des premiers scénarios climatiques, nous pouvons aujourd'hui vérifier quelle trajec-

toire nous avons suivie, parmi celles qui étaient alors envisagées. Il s'avère que les émissions ont été celles des scénarios les plus pessimistes. L'écart entre les évolutions rapides du climat et celles, plus lentes, de la sylviculture et de la forêt est donc probablement appelé à se creuser.

D'un point de vue plus général, même si le rôle d'atténuation du changement climatique que peut jouer la forêt ouvre des opportunités intéressantes (conservation des forêts pour la séquestration, crédits carbone éventuels, stimulation des filières bois d'œuvre et bois énergie), les impacts attendus vont dans le même temps entraîner de nouvelles contraintes de gestion. Les forêts jouent une multitude de rôles variés (offrent des « services écosystémiques »), au-delà de la seule régulation de l'effet de serre. Ce sont donc bien les émissions de gaz à effet de serre issus du carbone fossile qu'il faut adapter aux capacités des écosystèmes, et non l'inverse. ■

### Résumé

Le changement climatique a de multiples impacts sur la forêt. On peut en distinguer 4 catégories : l'accommodation par des modifications de fonctionnement physiologique, de phénologie ou de croissance des arbres, l'adaptation génétique, la migration et enfin la mortalité des arbres. Les marges de manœuvre sylvicoles sont réduites, devant les risques de perte de productivité et d'augmentation des dépérissements. La forêt joue un rôle important d'atténuation du changement climatique, mais qui est dominé par la séquestration du carbone en forêt, du fait de l'augmentation en surface et en volume des forêts.

**Mots-clés :** forêt, changement climatique, impact, atténuation.

### Bibliographie

- Badeau V., Dupouey J.-L., Cluzeau C., Drapier J., 2005. Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100, *Forêt-entreprise*, N°162, 25-29.
- Bréda N., Granier A., Aussenac G., 1995. Effects of thinning on soil water balance and tree water relations, transpiration and growth in oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), *Tree Physiol.* 15, 295-306.
- Daubrée J.-B., Kremer A., 1993. Genetic and phenological differentiation between introduced and natural populations of *Quercus rubra* L., *Ann. For. Sci.* 50, 271s-280s.
- Dupouey J.-L., Pignard G., Hamza N., Dhôte J.F., 2010. Estimating carbon stocks and fluxes in forest biomass : 2. Application to the French case based upon National Forest Inventory data, In Loustau D. (ed.), « Forests, carbon cycle and climate change », Chapter 4, ed. Quae, 101-129.
- Lenoir J., Gégout J.-C., Marquet P.A., De Ruffray P., Brisse H., 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century, *Science*, 320 (5884), 1768-1771.
- Stanosz G.-R., Blodgett J.-T., Smith D.R., Kruger E.-L., 2001. Water stress and *Sphaeropsis sapinea* as a latent pathogen of red pine seedlings. *New Phytologist*, 149, 531 - 538.

# CO<sub>2</sub> : stocker ou produire, faut-il choisir ?

Par Simon Martel<sup>1)</sup>, Loïc Casset<sup>2)</sup>, Olivier Picard<sup>3)</sup>

1) Forestier privés de France/CNPF-IDF.  
2) CRPF Rhône-Alpes.  
3) CNPF-IDF.

*Le bilan carbone forestier a fait débat lors des Journées techniques nationales du CNPF à Tours en janvier 2013. Cet article clarifie le sujet en s'appuyant au maximum sur les études scientifiques les plus récemment publiées.*

Le lien entre le réchauffement climatique et les activités anthropiques génératrices de gaz à effet de serre n'est aujourd'hui plus remis en cause au sein de la communauté scientifique. Et le principal gaz responsable est désigné depuis longtemps : c'est le CO<sub>2</sub>, que nous émettons en quantités croissantes depuis le début de l'ère industrielle. Un défi majeur pour notre société est donc d'enrayer ce changement climatique en stoppant l'augmentation des quantités de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Dès lors, deux solutions complémentaires peuvent être envisagées : diminuer nos émissions de CO<sub>2</sub> ou capter le CO<sub>2</sub> atmosphérique.

## Le triple rôle du système forêt-bois dans le bilan carbone

La forêt tient une place centrale dans le cycle du carbone et donc joue un rôle important d'atténuation du changement climatique grâce au triple effet qu'elle exerce sur le bilan carbone quand le bois est utilisé comme matériau et comme source d'énergie (les 3 « S ») :

- l'effet de **séquestration** : grâce à la photosynthèse, le CO<sub>2</sub> atmosphérique est capté par les arbres et le carbone est séquestré dans différents « compartiments » : feuilles, branches, tronc, racines et dans le sol. Cet effet dépend directement de la vitesse de croissance du peuplement et de la densité du bois, donc de l'essence et des conditions stationnelles. Ainsi un peuplement de chêne qui croît d'1 m<sup>3</sup> séquestre 1 tCO<sub>2</sub><sup>□</sup> contre 0,60 tCO<sub>2</sub> pour 1 m<sup>3</sup> de peuplier, l'écart étant dû à la différence de densité entre les deux essences.

- l'effet de **stockage dans les produits bois** : le carbone n'est pas réémis tout de suite lors de l'exploitation des arbres et une partie peut même être longuement stockée dans certains produits. Cet effet dépend donc directement de la qualité des produits issus de la sylviculture. Toutefois, même en produisant du bois

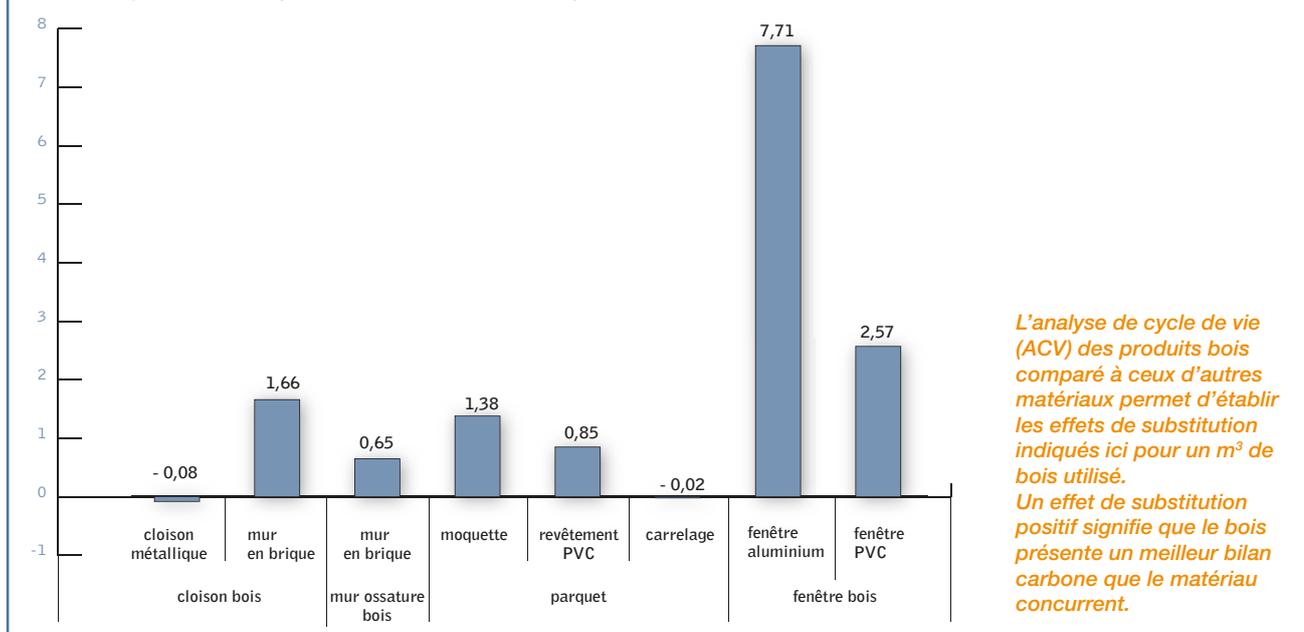
d'œuvre de qualité, les pertes de matière lors des différentes étapes de la transformation sont importantes. Elles réduisent d'autant la durée de vie du carbone contenu dans les arbres exploités car la plupart des produits connexes sont utilisés rapidement pour produire de l'énergie ou des produits à courte durée de vie comme le papier ou le carton. Par exemple, la durée de vie apparente d'un billon destiné à la construction est de 9 ans (Vallet, 2005). Cette durée de vie apparente est la moyenne des durées de vie de chacun des produits issu du billon pondérée par leur proportion. Sur toute la durée d'un itinéraire de production de chêne sessile, (Fortin et Ningre, 2012) estiment ainsi que le stock de carbone « produits bois » représente 10 % du bilan carbone global.

- l'effet de **substitution** ou plutôt les effets de substitution énergie et matériau : ce sont les émissions évitées grâce à l'usage du bois respectivement à la place d'énergie fossile ou de matériau énergivore, soit des matériaux dont la production et la transformation sont fortement émetteurs de carbone. L'effet de substitution est composé de deux effets :

1. concernant les matériaux, à usage égal, la transformation du bois consomme moins d'énergie que la mise en œuvre de l'aluminium, acier, verre, PVC, béton (Figure 1).
2. l'usage du bois mobilise du carbone « biologique » à durée de vie courte, renouvelable, et évite l'émission de carbone fossile retiré de l'atmosphère depuis 200 millions d'années.

Le bilan carbone de l'aluminium est par exemple désastreux : l'utilisation de bois à la place de l'aluminium pour des fenêtres permet ainsi d'éviter l'émission de 7,71 tCO<sub>2</sub> par m<sup>3</sup> de bois utilisé (Rüter, 2010). La substitution est un effet permanent et cumulable dans le temps. L'avantage du bois est sa capacité à être utilisé en cascade : matériau massif, matériau reconstitué, énergie : chaque utilisation peut engendrer des substitutions. On notera que la substitution énergie n'a de sens que dans

□ Deux unités sont utilisées pour quantifier le carbone : alors que les économistes et énergéticiens raisonnent en tonnes de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>), les biologistes parlent de tonne de carbone (tC). 1 tCO<sub>2</sub> = 44/12 tC, soit 3,67 tC. Le coefficient de 44/12 est le rapport des masses moléculaires (12 + 2 x 16 = 44 pour le CO<sub>2</sub> et 12 pour le C).

Figure 1 - Exemples d'effets de substitution pour un m<sup>3</sup> de bois utilisé (d'après Rüter, 2010 et Albrecht et al., 2008)

des forêts gérées durablement où le carbone émis lors de la combustion du bois est recapté par la croissance des forêts. Il faut donc que le système soit globalement équilibré, c'est-à-dire sans déstockage, ni surstockage. Différentes études utilisent les coefficients de substitution de 0,81 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> pour le bois utilisé dans la construction et 0,70 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> pour le bois énergie (Martel, 2010) avec le bouquet énergétique français. Dans les pays utilisant le charbon ou le pétrole pour l'électricité, l'effet substitution est beaucoup plus fort.

On peut retenir les ordres de grandeur suivants, issus des recherches sur le bilan carbone du chêne : quand la forêt séquestre 100 tCO<sub>2</sub>, le bois stocke 10 tCO<sub>2</sub> et il est évité l'émission de 100 tCO<sub>2</sub> de carbone fossile grâce à l'utilisation du bois en matériau et énergie. Le bilan carbone forestier doit donc être analysé à la lumière de ces 3 « S ».

C'est ce qu'ont fait plusieurs études récentes en comparant le bilan carbone de scénarii volontairement extrêmes : l'arrêt de l'exploitation ou l'intensification de la production de bois énergie.

## À court terme : stocker plutôt que brûler

Les résultats des différentes études montrent que d'ici 2020, voire 2030, un scénario « séquestration en forêt » apparaît comme plus efficace en termes d'atténuation qu'un scénario « substitution énergétique », visant à produire du bois énergie se substituant aux énergies fossiles. Dans un contexte d'utilisation croissante d'énergies renouvelables, la demande de biomasse pour des usages énergétiques

devrait fortement augmenter et pourrait entraîner un déstockage, que l'unique substitution énergétique ne compensera pas à court terme. À production d'énergie égale, le bois émet plus de carbone que tout autre combustible, il en émet même pratiquement deux fois plus que le gaz naturel (Leturcq, 2011). À court terme, la mise en place d'une politique de séquestration est également moins coûteuse pour la société, que celle de substitution énergétique (Cauria, 2012).

Il apparaît donc clairement que l'utilisation accrue de bois énergie présente un bilan carbone défavorable à court terme, ceci étant d'autant plus vrai que le bois brûlé provient de grumes qui auraient pu connaître des valorisations plus nobles, comme le souligne un récent rapport de la commission européenne (JRC, 2013).

## La pompe à carbone

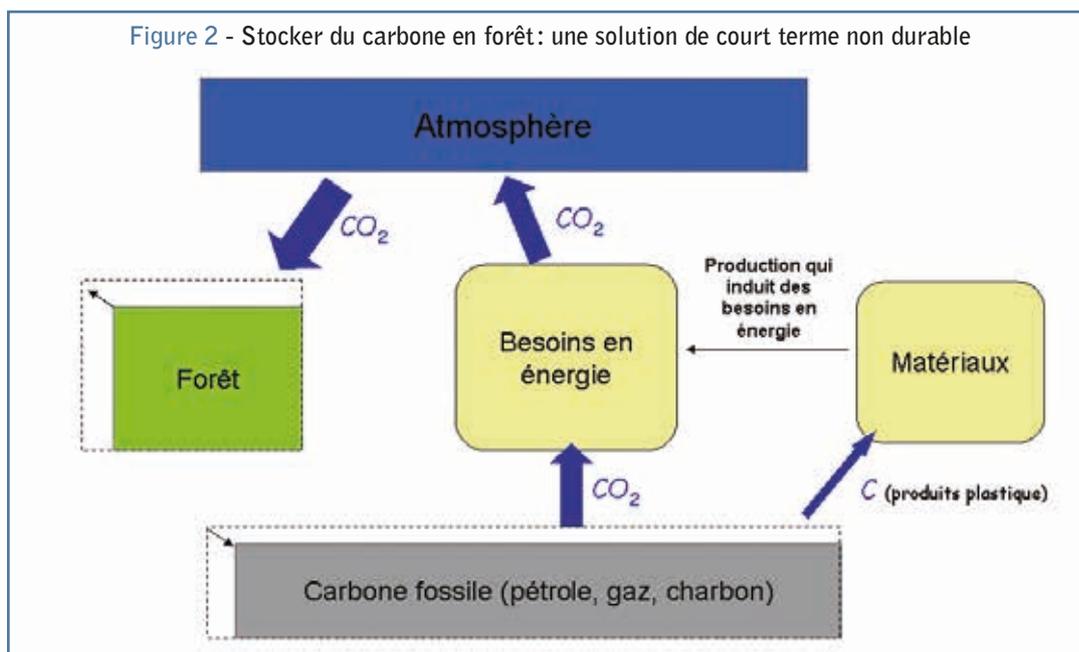
### « bois énergie » :

**une solution de long terme qui engendre une « dette carbone » à court terme**

Néanmoins, il semble évident qu'un scénario de conservation du carbone en forêt n'est pas durable (Figure 2) dans le temps et ceci pour deux raisons :

- la séquestration de carbone dans des forêts non gérées ne peut durer *ad vitam æternam* : une vieille forêt finit par atteindre un état d'équilibre dans lequel ses absorptions de CO<sub>2</sub> sont compensées par les émissions provenant de la décomposition des arbres morts et de la respiration des plantes (théorie d'Odum, 1969).

Une politique visant uniquement à optimiser le stock en forêt serait la plus efficace à court terme mais elle implique à moyen-long terme l'épuisement des ressources de carbone fossile et le plafonnement du « réservoir forestier ».



Même si la plupart des forêts françaises sont encore loin d'atteindre ce stade, la capitalisation du carbone en forêt induit également une augmentation de la vulnérabilité des forêts vis-à-vis des aléas climatiques (tempêtes, incendies, sécheresses) qui peut les rendre brusquement émettrices de carbone. Or, dans le contexte des changements climatiques, ces événements extrêmes devraient être de plus en plus fréquents ;

- les stocks d'énergie fossile (pétrole, gaz et charbon) sont limités et ne peuvent pas durablement subvenir à nos besoins. À l'inverse, provenant de forêts gérées, le bois est une source d'énergie renouvelable et donc durable.

Ainsi, les scientifiques ont montré qu'à **long terme** (à l'horizon 2100), il est plus efficace d'utiliser le bois plutôt que de mettre sous cloche nos forêts (Kölh et al., 2010; Walz et al., 2010; Werner et al., 2007). On comprend ici toute l'importance du pas de temps choisi pour évaluer « l'incidence carbone » des orientations prises pour nos forêts.

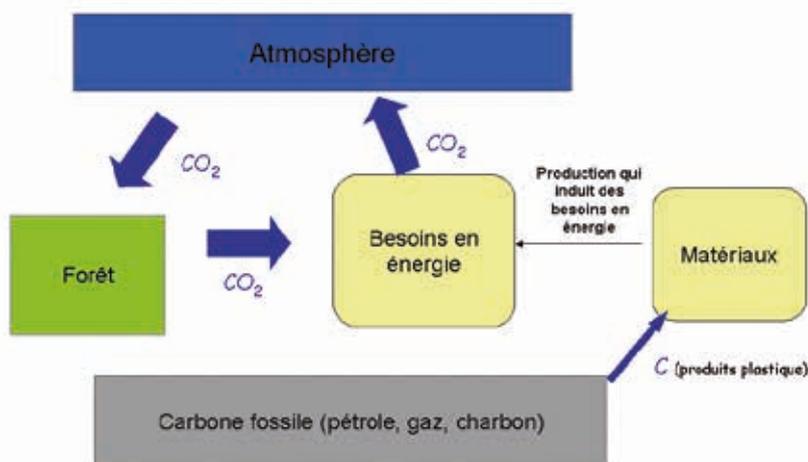
### Une solution vertueuse : produire du bois d'œuvre utilisé en cascade

Entre les scénarii caricaturaux de production intensive de bois énergie ou à l'inverse de protection totale de la forêt, un compromis est à trouver. Des scénarii de production de bois d'œuvre prennent alors tout leur sens. Ils permettent un effet durable sur les 3 « S » (Figure 4). Premièrement, en produisant du bois d'œuvre, on maintient, voire on accroît l'effet de séquestration grâce à un stock de carbone dans le réservoir « forêt » élevé : le stock est élevé en moyenne sur la durée de révolution

en futaie régulière et il est élevé à tout moment en futaie irrégulière. L'effet de stockage dans les produits bois est également optimisé si l'on fournit du bois de qualité à longue durée de vie. Enfin, la production de bois d'œuvre permet de favoriser les effets de substitution. On a vu précédemment que l'effet de substitution « matériau » pouvait être conséquent, alors qu'il ne comptabilise même pas les effets indirects d'économies d'énergie liées aux qualités d'isolation du bois utilisé dans la construction. De plus, au sein d'itinéraires orientés vers la production de bois d'œuvre, une majeure partie de la biomasse produite sera utilisée en tant que bois d'industrie ou bois énergie : premières éclaircies, houppiers et arbres mal venants lors des coupes de bois d'œuvre et produits connexes de la première et seconde transformation peuvent alimenter une filière bois énergie en devenant et donc permettre un effet « substitution énergie ».

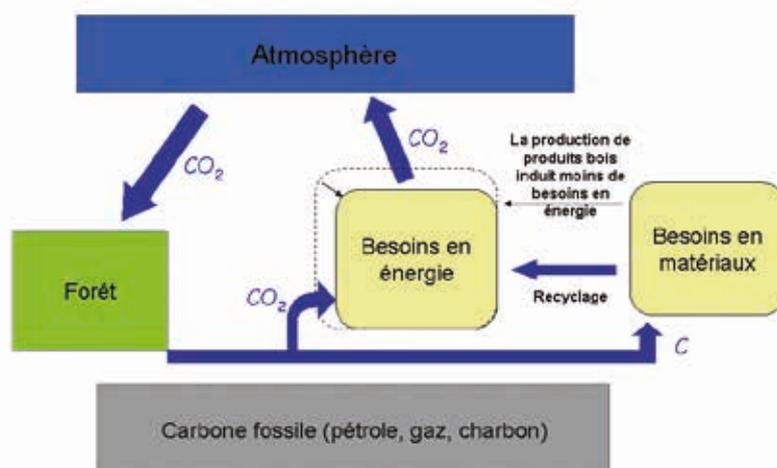
Une politique efficace de recyclage des produits bois permettant l'**utilisation en cascade** et donc le cumul des effets de substitution ne peut être que bénéfique. Par exemple, une grume d'un m<sup>3</sup> de chêne utilisée pour fabriquer du parquet qui serait utilisée à la place d'un revêtement synthétique permet un premier effet de substitution de 0,81 tCO<sub>2</sub>. En fin de vie, si ce parquet est broyé et utilisé en tant que plaquette forestière, il donne lieu à un nouvel effet de substitution de 0,70 tCO<sub>2</sub>. Grâce à ces effets cumulés, l'utilisation de cette grume aura permis des économies d'émission de 1,51 tCO<sub>2</sub>, alors qu'elle n'aurait séquestré que 1 tCO<sub>2</sub> si on l'avait laissée en forêt, cet effet n'étant pas forcément permanent compte tenu des risques pesant sur la forêt.

Figure 3 - Produire du bois énergie : une solution durable qui entraîne une « dette carbone »



Une politique visant à augmenter l'utilisation de bois énergie entraîne plus d'émissions à court terme (dette carbone) mais peut s'avérer durable (maintien d'une « pompe à carbone » efficace et limitation de l'utilisation du carbone fossile).

Figure 4 - Produire du bois d'œuvre : une solution durable qui optimise les « 3 S »



La production de bois d'œuvre est une solution durable qui optimise conjointement les trois fonctions exercées par le système forêt-bois : maintien d'un stock élevé et stable dans le réservoir forêt et dans le réservoir « produits bois » et émissions évitées grâce aux effets de substitution énergie et matériau.

## Conclusion

Dans le contexte de lutte contre le changement climatique, le bilan carbone des itinéraires sylvicoles mis en place est un indicateur de gestion à prendre en compte parmi d'autres. La forêt joue un rôle dans l'atténuation du changement climatique et le forestier, de par ses décisions, y tient une place centrale.

Face à l'urgence de la situation, une première erreur serait de se tourner vers la solution la plus efficace à court terme en capitalisant le carbone en forêt. Mais cette solution n'est pas durable.

Bien gérées, nos forêts peuvent fournir une source d'énergie renouvelable et durable sur le long terme. La meilleure solution reste la production de bois d'œuvre de qualité, là où les conditions stationnelles actuelles et futures le permettent.

Produire du bois d'œuvre maintient ou accroît le stock forestier, tout en prolongeant le stockage du carbone dans les produits bois (effet faible toutefois), mais surtout en permettant des effets de substitution multiples, lorsque le bois est utilisé en cascade.

L'attribution d'une valeur économique au carbone devrait permettre de rémunérer le sylviculteur pour son action bénéfique vis-à-vis du climat. Il est toutefois primordial que le rôle de la forêt soit valorisé au regard de son triple effet dans une vision intégrée et sur le long terme pour garantir la durabilité du système. ■

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

À retrouver sur :

[www.foretpriveefrancaise.com/carbone/](http://www.foretpriveefrancaise.com/carbone/)

### Résumé

Le rôle d'atténuation de la forêt sur le bilan carbone provient des « 3 S » : Séquestration, Stockage, Substitution. Les arbres, via la photosynthèse, séquestrent le CO<sub>2</sub> atmosphérique émis, solution de court terme efficace pour atténuer le changement climatique, mais non durable. La solution la plus vertueuse est de produire du bois d'œuvre utilisé en cascade, et dont le cumul des effets de substitution est bénéfique.

**Mots-clés :** carbone, séquestration, stockage, substitution, durable.



# Le programme « Chênaies atlantiques face au changement climatique : comprendre et agir »

Par Arnaud Guyon<sup>1)</sup>, Christian Weben<sup>2)</sup>, Jean Lemaire<sup>3)</sup>, Christophe Drénou<sup>3)</sup>

- 1) CNPF Poitou-Charentes  
2) CNPF Pays de la Loire  
3) CNPF-IDF

*Le programme interrégional « Chênaies atlantiques » initié en 2007 touche à sa fin. Nous avons demandé à Christian Weben (CRPF Pays de la Loire), Arnaud Guyon (CRPF Poitou-Charentes), Christophe Drénou (IDF Toulouse) et Jean Lemaire (IDF Lyon) de résumer les grandes avancées réalisées au cours de ce projet.*



Arnaud Guyon



Christian Weben



Jean Lemaire



Christophe Drénou

## Comment est né ce projet ?

Ch. Weben : Ce projet est parti d'une réalité de terrain. Les forestiers du grand Ouest ont ressenti une aggravation des phénomènes de dépérissements après la canicule de 2003 et suite à la sécheresse de 2005. En Pays de la Loire, le nombre de coupes d'urgence ou dérogatoires au Plan Simple de Gestion (PSG) pour des peuplements de chêne dépérissants, exceptionnelles en temps ordinaire, a ainsi été multiplié par 2,5 en 2006 et par 4 en 2007. En Poitou-Charentes, plusieurs propriétaires forestiers ont alerté le CRPF. Malheureusement sur le terrain, les personnels étaient assez démunis pour répondre aux nombreuses questions posées. Quel est l'ampleur du phénomène ? Les symptômes de dépérissement sont-ils graves et irréversibles ? Toutes les espèces de chênes sont-elles concernées ? Les causes sont-elles d'origine climatique ? Les avis étaient à l'époque contradictoires, oscillant entre des discours alarmistes et des positions excessivement rassurantes. Il a donc été décidé en 2007 d'organiser une réunion interrégionale et inter organismes en Sarthe. Ce fut le point de départ du projet. Par la suite, grâce à l'appui de l'État, de l'Europe et des régions, une dynamique commune a permis de réunir sept CRPF du grand Ouest : Normandie, Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes, Centre, Aquitaine, Midi-Pyrénées.

## Comment le programme est-il structuré ?

Ch. W. : Même si la problématique était générale, des attentes spécifiques ont rapidement été formulées par chaque région, déterminées par leurs caractéristiques climatiques et forestières. Face à cette difficulté de gouvernance, qui aurait pu très vite devenir ingérable, il a été décidé de décliner le projet en modules selon trois principes. Tout d'abord, à chaque module devait correspondre une question concrète et un financement dédié. Ces modules ont fait l'objet d'un protocole de travail et d'un calendrier des opérations élaborés sur mesure. Enfin, chaque module thématique avait la possibilité d'être adapté à chaque région et d'évoluer en fonction des résultats en cours d'acquisition. Au total, sept modules ont été définis : état des lieux en termes de dépérissement des chênaies, aptitude à la résilience des peuplements, relations entre le bilan hydrique et les dépérissements, potentialités à produire du bois d'œuvre du chêne pubescent, effets des éclaircies sur l'état sanitaire des arbres stressés, formations et communications.

## Quel est aujourd'hui l'état des chênaies atlantiques ?

A. Guyon : Au démarrage de l'étude, les seules données disponibles relatives au dépérissement émanaient du Département de la santé



2

## En savoir +

Projet chênaies atlantiques  
et diagnostic ARCHI  
[www.foretpriveefrancaise.com/chene/](http://www.foretpriveefrancaise.com/chene/)

des forêts. Leur résolution n'était pas suffisante pour tirer des conclusions à l'échelle de chacune des régions Pays de la Loire et Poitou-Charentes, du fait de leur taux de boisement plus faible que la moyenne (10 % en Pays de la Loire, 15 % en Poitou-Charentes). Ces deux CRPF ont donc décidé en 2009 d'estimer le taux de dépérissement sur 184 placettes disposées sur un maillage systématique de 2 km par 2 km. Les résultats ont montré que sur les deux grands chênes présents, seul le chêne pédonculé était significativement touché. En Poitou-Charentes, un quart des placettes de cette essence sont à tendance dépérissante, et 8 % en Pays de la Loire.

À ce premier état des lieux ont ensuite été ajoutées 79 placettes réparties sur l'ensemble de la région Midi-Pyrénées. Contrairement à ce que nous laissaient présager les résultats obtenus en Poitou-Charentes, le chêne pédonculé présentait un très faible taux de dépérissement en Midi-Pyrénées. D'après les observations de terrain, ces résultats peuvent être expliqués. Le chêne pédonculé se restreint aux stations pédoclimatiques qui lui conviennent (bas de versant, versant nord, pente faible...), et tout porte à croire que le climat contraignant du Sud-Ouest a déjà fait une sélection. D'ailleurs, pour cette région, les peuplements à dominance de chêne sessile, de pédonculé ou de pubescent se retrouvent en nombres équivalents.

### Est-il utile de calculer la Réserve Utile en eau des sols ?

A. G. : 54 fosses pédologiques de grande profondeur ont été ouvertes après avoir sélectionné 27 couples de placettes dépérissantes et non dépérissantes dans plusieurs régions (Poitou-Charentes, Basse Normandie, Aquitaine, Bretagne et Pays de la Loire).



3

© G. Seidak, CNPF-IDF

1. Reconnaissance des 3 espèces de chêne au cours d'une réunion interrégionale de présentation dans le Tarn en 2011.

2. Les partenaires financiers et techniques impliqués dans le programme Chênaies atlantiques.

3. Abattage de grume de chêne pubescent pour étudier la qualité du bois.

Au total : 263 placettes étudiées, 90 arbres carottés, 45 grumes abattues et 54 fosses pédologiques ouvertes.

Les résultats obtenus en termes de Réserve en Eau du sol (R.U.) sont difficilement exploitables. Le calcul des R.U. est en effet très approximatif car les obstacles à l'ouverture des fosses (roches, longueur du bras de la pelle mécanique) ne sont généralement pas des contraintes pour les racines, ce qui ne nous permet pas de connaître la valeur de la profondeur maximale d'enracinement. De plus, certains horizons pédologiques (arène granitique, schistes, ...), parfois fortement colonisés par les racines, ne peuvent être convertis en réserve en eau faute de coefficients appropriés. Il est vrai que la méthode aujourd'hui utilisée, dite de « Jamagne », du nom de son concepteur, date de 1977 et a été mise au point sur des sols agricoles de l'Aisne et pour des herbacées. Le projet « Chênaies Atlantique » a donc eu le mérite de montrer les limites de cette méthode et de lancer un appel à la communauté scientifique pour développer un protocole utilisable en forêt.

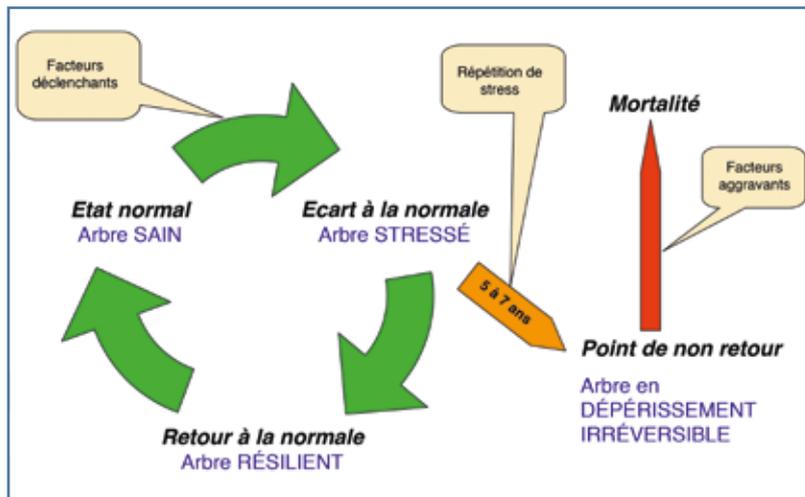
### Pourquoi développer une nouvelle méthode de diagnostic de l'état des arbres ?

Ch. Drénou : Les forestiers ont besoin d'une méthode de diagnostic visuel sur le terrain, non seulement pour suivre l'état de santé des forêts au cours du temps (mission assurée par le Département de la santé des forêts), mais aussi pour désigner les arbres d'avenir lors des éclaircies et pour décider des coupes rases après une crise sanitaire. La méthode ARCHI (ARCHitecture des arbres) n'est pas nouvelle en soi. L'étude de l'architecture des plantes a commencé dans les années 1970 avec les travaux précurseurs du botaniste français Francis Hallé. Puis, très rapidement, avec l'arrivée de nouveaux concepts (ordre de ramification, unité architecturale, réitération...), la lecture des arbres s'est perfectionnée et a pris une dimension scientifique.

Elle permet aujourd'hui de pronostiquer l'avenir proche des arbres dépérissants. L'innovation apportée par le projet « Chênaie Atlantique » est de proposer aux forestiers des clés de



© Ch. Drénou, CNPF-IDF



© Ch. Drénou, CNPF-IDF

**Formation aux observations suivant la méthode ARCHI.**

**Capacités de réaction d'un arbre suite à des aléas.**

détermination guidant l'observateur vers cinq sorties possibles :

- arbre sain : arbre dont l'architecture est conforme à son stade de développement,
- arbre stressé : arbre dont l'architecture s'écarte de la norme et dont l'avenir est incertain,
- arbre résilient : arbre présentant une dynamique de retour à la normale,
- arbre en descente de cime : arbre présentant une dynamique de construction d'un nouvel houppier sous la cime,
- arbre en situation de dépérissement irréversible : arbre bloqué dans une situation de non retour à la normale

Ainsi, deux chênes ayant le même taux de mortalité, ou présentant un déficit foliaire identique, n'auront pas du tout le même devenir selon la nature des gourmands qu'ils portent. La méthode ARCHI se décline essence par essence et est aujourd'hui disponible pour six espèces : le chêne pédonculé, le chêne sessile, le chêne pubescent, le châtaignier, le douglas et le sapin pectiné. D'autres espèces viendront progressivement s'ajouter au fur et à mesure de l'avancée des connaissances.

**Le chêne pubescent peut-il être une alternative au pédonculé ?**

**J. Lemaire :** Le chêne pubescent a été l'invité surprise du projet « Chênaies Atlantiques ». Inconnu, dénigré par le gestionnaire, le chêne pubescent est souvent présent dans les secteurs où le pédonculé est dépérissant. Les chênes pubescents identifiés dans ces forêts sont de dimensions commercialisables (diamètre supérieur à 40 cm) et pourtant le forestier ne les valorise pas en bois d'œuvre. Un important travail a donc été mené sur la qualité du bois de chêne pubescent. Au total, 27 grumes de pubescents et 18 de pédonculés ont été abattues dans l'Indre, la Vienne et le Tarn. Les résultats montrent que les caractéristiques mécaniques du pubescent sont supérieures à celles du pédonculé (analyses faites par l'École supérieure du bois de Nantes). En termes de teneurs et de composi-

tion en tanin, il n'y a pas de différence entre les deux espèces (résultats Inra). Le pubescent est donc apte aux usages de la tonnellerie. Enfin, les différents essais de séchage réalisés par le Cirad (dans des séchoirs à air chaud climatisé) concluent qu'il est possible de modifier les conditions de séchage habituellement utilisées pour les chênes afin de les adapter aux spécificités du pubescent.

**En quoi consiste l'outil Bioclimsol ? Est-il opérationnel aujourd'hui sur les chênes ?**

**J. L. :** Nous avons décidé de tester l'hypothèse selon laquelle le déficit hydrique climatique est l'indicateur le mieux corrélé aux dépérissements. P-ETP représente le déficit hydrique climatique, c'est-à-dire le bilan entre les précipitations (P = Pluviométrie) et les sorties d'eau que sont la transpiration des arbres et l'évaporation (ETP = évapotranspiration potentielle). En 2010, suite aux résultats obtenus en Pays de la Loire et Poitou-Charentes, nous avons effectué un nouvel échantillonnage stratifié par catégorie de P-ETP sur l'ensemble de la chênaie atlantique (159 placettes mesurées : 12 en Normandie, 19 en Bretagne, 53 en Pays de la Loire, 47 en Poitou-Charentes et 28 en Aquitaine).

Nous avons ainsi démontré qu'il existe un lien statistiquement significatif entre les dépérissements et le déficit hydrique climatique. Les résultats montrent qu'il existe des valeurs seuils climatiques au-delà desquelles les chênaies souffrent au point de décliner. Ces valeurs de P-ETP peuvent être spatialisées afin d'obtenir des cartes de vigilance adaptée à chaque espèce de chêne et évolutive en fonction des scénarios climatiques futurs. Sur cette base, un outil de diagnostic sylvoclimatique a été mis au point afin d'aider les gestionnaires dans leurs prises de décision. Appelé Bioclimsol (« Bio » pour prise en compte du vivant, « Clim » pour prise en compte du climat et « Sol » pour prise en compte des composantes pédologiques), il propose une démarche en 6 étapes :



Des acteurs aux multiples compétences au service du projet Chênaies atlantiques.

1. acquérir les données climatiques de la station,
2. prendre en compte les facteurs compensateurs du climat (altitude, exposition, topographie),
3. comparer les données climatiques aux seuils écologiques de chaque essence,
4. apprécier les caractéristiques édaphiques (pH, engorgement en eau,...),
5. diagnostiquer l'état physiologique du peuplement avec la méthode ARCHI
6. en déduire la liste des essences potentielles adaptées à la station

Cet outil a été validé pour les trois espèces de chênes étudiées (pédonculé, sessile et pubescent) et est donc opérationnel dans le contexte des chênaies atlantiques. Il est aujourd'hui testé sur d'autres essences tant feuillues que résineuses.

### Quels conseils donneriez-vous aux forestiers inquiets par les effets du changement climatique ?

Ch. D. : Face au changement climatique, après le temps du constat national vient celui de l'action locale. Il est temps maintenant de conseiller les propriétaires forestiers, de rassurer les industriels, de sensibiliser les décideurs et d'appliquer les résultats de la recherche.

Les premières cartes nationales simulant la migration des essences forestières sont aujourd'hui constamment modifiées au gré des nouveaux modèles climatiques qui ne cessent de voir le jour (il y en a actuellement 27). On serait désorienté, voire découragé à moins ! Et pourtant, les acteurs de la forêt peuvent agir de différentes façons :

- en s'appuyant sur les données de terrain pour définir les paramètres climatiques et édaphiques les plus pertinents ainsi que leurs seuils, essence par essence,
- en adaptant les données météo disponibles à la diversité topographique et aux spécificités forestières,
- en enrichissant les notations classiques de symptômes de dégradation des houppiers

### Principaux résultats

- Il existe des valeurs seuils climatiques au-delà desquelles les chênaies souffrent.
- La méthode ARCHI permet de juger de l'aptitude à la résilience des chênaies après un stress climatique.
- Un outil informatique pour définir les zones de vigilance climatique spécifiques à chaque essence est en construction au CNPF (Bioclimsol).
- Le chêne pubescent est un candidat potentiel pour la substitution du pédonculé dans un contexte de climat changeant.

### Un exemple d'organisation pour le CNPF :

- un projet concret et appliqué partant d'une réalité de terrain,
- un sujet mobilisateur et fédérateur pour le CNPF,
- une méthode de travail modulaire, adaptative et évolutive,
- un réseau de responsables identifiés qui partagent l'information,
- des adaptations aux contextes régionaux,
- une cohérence nationale couplée à une souplesse régionale,
- une mutualisation des compétences et un coût limité,
- une ouverture à de multiples partenaires (scientifiques, écoles, ...),
- une valorisation continue des résultats (2 colloques internationaux, 11 réunions interrégionales, 6 stages de formations, de nombreuses publications...).

par l'appréciation des processus de résilience selon la méthode ARCHI,

- en envisageant des essences de substitution et en testant la qualité mécanique de leur bois,
- en se dotant de nouveaux outils de gestion géoréférencés, numériques et évolutifs (outil Bioclimsol).

Le projet « Chênaies Atlantiques » a montré la voie. D'autres projets, notamment en région méditerranéenne et en secteur montagnard, lui emboîtent le pas. Enfin, face à la prolifération des discours théoriques, souvent très généralistes, parfois anxigènes, souvenons-nous de ce proverbe chinois :

« J'entends et j'oublie, je vois et je me souviens, je fais et je comprends ». ■

### Résumé

Face aux risques de dépérissements des chênaies, 7 CRPF du grand Ouest ont mutualisé leurs compétences, leurs travaux, en lien avec la recherche, depuis 2007. Les résultats – cartographie des risques en fonction du déficit hydrique, connaissance de la réserve utile des sols, diagnostic de résilience des peuplements *via* le protocole ARCHI, caractérisations des qualités du bois de chêne pubescent – sont disponibles.

**Mots-clés :** programme « Chênaies atlantique », résultats, changement climatique.

# S'adapter au changement climatique, le défi des forestiers

Par Olivier Picard, IDF, service R & D du CNPF

*Comprendre et anticiper les impacts du changement climatique sur la forêt française au cours du siècle prochain est un véritable défi qui mobilise les forestiers. Parmi les missions de développement et d'amélioration de la gestion des forêts privées du CNPF, ce séminaire définit et met en œuvre les orientations de l'établissement public face à cet enjeu de société.*

**P**rendre conscience, connaître, comprendre, anticiper, sont les premières étapes nécessaires pour permettre aux forestiers d'être acteurs et de relever le défi de l'adaptation des forêts aux conditions climatiques actuelles et futures!

Dès à présent, il convient d'agir pour éviter les principales erreurs ou impasses, et minimiser les risques.

Un message essentiel à diffuser à tous les gestionnaires : **toute décision de gestion doit s'appuyer sur un solide diagnostic climatique et sylvicole**. À partir de la situation actuelle connue, la vulnérabilité éventuelle des peuplements peut être évaluée, et ainsi surveillée.

Le forestier du XXI<sup>e</sup> siècle doit apprendre à intégrer le risque climatique dans ses choix sylvicoles.

Il n'y a pas de recettes sylvicoles miracles MAIS un portefeuille de solutions graduelles, autour d'actions-clés : diagnostiquer, surveiller, adapter par des actions comme éclaircir les peuplements, accélérer les révolutions, diver-

sifier les essences et les sylvicultures, substituer les essences.

Ces actions seront évolutives, selon l'importance des impacts ou de la vulnérabilité des forêts, dans le temps et l'espace. En effet, les régions ne seront pas touchées de la même façon ni au même rythme en zone méditerranéenne ou dans le Nord de la France.

Enfin, l'atténuation du changement climatique par la forêt est un atout majeur que les forestiers doivent partager avec les acteurs de la filière industrielle, mais aussi avec la société. Les personnels techniques du CNPF se mobilisent et s'impliquent pour apporter conformément à leurs missions la meilleure assistance possible aux gestionnaires. Ce chantier de l'adaptation des forêts aux changements climatiques fédère l'ensemble du CNPF. Les compétences et richesses des expériences régionales favorisent une synergie et une mutualisation des applications concrètes à développer ou à transférer pour faire face au défi du changement climatique.

## Connaître et comprendre

### Le climat change, les arbres réagissent

Face à ces phénomènes en marche, le CNPF partage un constat, propose un langage commun et une méthode de travail. En effet, les techniciens, confrontés aux demandes d'explications et de conseils des propriétaires forestiers, doivent disposer d'outils d'aide à la décision. Des essais ou références doivent être valorisés pour faire prendre conscience de l'importance d'intégrer le changement climatique dans la gestion forestière.

Dès à présent, un discours de développement forestier peut être construit à partir des connaissances ou résultats validés.

Les 10 ateliers couvrent l'ensemble des problématiques et leur mise en œuvre.

Ateliers	
1	Données climatiques et stationnelles : outils de diagnostic existants, à améliorer, à créer, diffusion et utilisation de ces outils
2	Données peuplements : outils de diagnostic existants, à améliorer, à créer, diffusion et utilisation de ces outils
3	Expérimentation : recensement des dispositifs existants, dispositifs à recycler, à créer
4	Sylvicultures plus économes en eau
5	Mélanges d'essences et diversification
6	Âge d'exploitabilité et cycles courts
7	Gestion des peuplements dépérissants
8	Substitution, choix des essences et provenances
9	Besoins en outils de quantification, compensation et communication carbone
10	Organisation du CNPF : relations interservices, formation et communication internes



### Le diagnostic sylvo-climatique : le préalable

Face aux incertitudes climatiques, le forestier doit intégrer la gestion du risque dans ses prises de décisions dans le temps et dans l'espace ; il s'agit en effet de trouver le meilleur compromis entre ses objectifs et les possibilités de croissance et de production offertes par son peuplement, sa station, son climat. Pour cela, il doit pouvoir disposer des outils adaptés pour connaître et anticiper.

Les scientifiques développent des modèles climatiques, de croissance des arbres et des peuplements, ou encore de distribution des espèces. Ces informations nouvelles doivent être confrontées à la réalité du terrain. Le savoir-faire du forestier complète la démarche scientifique et permet de valider ou non les modèles.

L'évolution climatique ne se fera pas de manière linéaire, les années comme 2003 et suivantes se répèteront à intervalles plus ou moins réguliers, avec un cortège d'impacts générant des situations de crise qu'il faudra résoudre avec méthode. La gestion de crise devra donc aussi faire partie des compétences des forestiers.

Afin de ne pas être pris au dépourvu et de mieux anticiper, l'IDF en association avec les délégations régionales de CRPF, affine une démarche technique de diagnostic, avec l'outil Bioclimsol.

### Une boîte à outils en construction

« Que les forestiers, techniciens, gestionnaires propriétaires qui connaissent bien le climat de leur forêt lèvent la main ? » la pluviométrie et sa répartition selon les saisons ? le nombre de jours de gel ? la température moyenne, la température moyenne des mois les plus chauds ? le nombre de jours de déficit hydrique ? etc. Ces données indispensables, nous allons apprendre à les utiliser, à les maîtriser et **intégrer les nouvelles connaissances pour établir un bon diagnostic** du climat, du sol, du potentiel stationnel, pour le massif concerné.

La consultation des données climatiques, fournies par Météo France, constitue la première étape. Ces données peuvent provenir soit des stations météo proches de la forêt, ou des modèles climatiques avec un maillage du territoire national comme « Safran », ou encore les moyennes annuelles « Aurelhy », que le CNPF a acquis récemment sur les périodes allant de 1970 jusqu'à 2010. Ces données permettent de connaître le climat d'un massif forestier concerné.

Le portail Drias, développé par Météo France, permet d'évaluer l'évolution future du climat à l'échelle locale, à partir de plusieurs modèles climatiques possibles.

À l'échelle de la parcelle, l'Inra propose un calcul du bilan hydrique journalier, « Biljou® », d'un peuplement forestier, à partir de données climatiques d'une station météo sur les décennies passées. Cet outil explique la situation actuelle, si la parcelle a subi des chocs climatiques, et permet d'ajuster ou préciser sa vulnérabilité. Cet outil analyse les paramètres du peuplement, du sol (réserve en eau), pour évaluer l'impact de la sylviculture sur la vulnérabilité.

À l'issue du projet « Chênaie atlantique », sur le dépérissement du chêne pédonculé, le CNPF développe l'outil de diagnostic sylvo-climatique Bioclimsol, qui constitue une des clés de base de l'analyse du gestionnaire.

*Suivi d'un peuplement avec sylviculture adaptative au changement climatique : arbres notés individuellement à l'aide du protocole ARCHI (dispositif installé dans la Vienne : IDF/CRPF Poitou-Charentes)*

*Observation de l'état sanitaire selon le protocole Depefeu.*



**OUTIL SIG BIOCLIMSOL en cours de validation**  
*Annexes Tourneé dépérissement Sapin*  
 19 septembre 2012

**1. REFERENCE**

Coordonnées  
 XL93 : 821305 YL93 : 6454499  
 YWGS84 : N 45.17912 XWGS84 : E 4.54445  
 Dpt : 07 Commune : St Julien Vocance Lieu-dit : Bois de la Grange

**2. DONNEES CLIMATIQUES 1961-90**

	Digitalis (relief 1)
TMAN °C	9,3
TN3 °C	-0,7
PAN mm	961
PVEG mm	593
ETPAN mm	651
P-ETPVEG mm	20 (-20)
P-ETP0608 mm	-128 (-158)
MARTAN	53
MARTVEG	44
MART0608	32

*Remarque :* les valeurs en italique rouge équivalent valeurs retenues pour le bilan climatique, correspondent aux données de 1961-90 pour l'INM d'évolution du risque de gélées et aux données 1961-90 pour les données de la demande climatique en eau (ETP)

P et T au km près, P-ETP et ETP au 50 m près

Source : Digitalis Agroamont

Extraits de présentations de l'outil Bioclimsol.

**6** 3<sup>ème</sup> génération de carte (2012)  
**Carte de vigilance climatique pour le sapin pectiné**

**OUTIL ADAPTATIF et DYNAMIQUE = EVOLUTION en fonction des connaissances (Version 1 -> X)**

**Cartographie des zones de vigilance climatique**

- existe pour le sapin, les chênes pédonculé et sessile;
- en cours de validation pubescent, Douglas;
- en construction châtaignier, cèdre;
- Autres essences au cas par cas selon les résultats de la recherche et les crédits d'études.

**3. FACTEURS de MODERATION ou d'ACCENTUATION** Schéma de Montage

**GEOMORPHOLOGIE**  
 AIR (m) : 955 m  
 Expo : N-NE-E-SE-S-SO-O-NO  
 Pente % : 30 % Pente de pointe (à pente < 1 %)  
 Confinement % : 0 %

**Schéma A Plaine et Colline**

**3** **MICROTOPOGRAPHIE**

**MICROTOPOGRAPHIE - BILAN en EAU**

5 = HYPERFAVORABLE  
 Apports climatiques en eau supérieurs aux pertes, P-ETP positif au point 2

3 = FAVORABLE  
 Apports climatiques en eau équilibrés aux pertes, P-ETP positif au point 2

2 = BILAN NUL  
 Apports climatiques en eau égaux aux pertes, P-ETP nul au point 2

1 = DEFAVORABLE  
 Apports climatiques en eau inférieurs aux pertes ; pertes négatives au P-ETP durant le point 2

Les facteurs de pondération sont à préciser en fonction d'états existants (la Gélée, sécheresse, etc.)

**Pondération positive ou négative du P-ETP**

nale exemplaire de 7 CRPF et de l'IDF. (article p. 34-37 du dossier) Une meilleure compréhension des premiers impacts observés sur les chênes pédonculés aboutit à de nombreux résultats concrets :

- l'amélioration des connaissances sur l'autécologie des chênes,
- la compréhension des seuils de vulnérabilité climatique et la définition de zones climatiques à risque deviennent possibles ;
- l'outil ARCHI de diagnostic d'aptitude des arbres à surmonter un stress est une aide précieuse à la décision lors d'un martelage d'éclaircie dans des peuplements vulnérables (en développement sur d'autres essences) ;
- la valorisation du chêne pubescent, en substitution du chêne pédonculé, là où il n'est pas en station, est mise en avant.

Cette mutualisation de travaux et recherches coordonnées sont à étendre à d'autres régions et essences.

À partir des conclusions du diagnostic sylvo-climatique, le décideur connaît mieux :

- la vulnérabilité des essences en place, vis à vis de conditions climatiques, par exemple plus sèches l'été ;
- en fonction de l'état des peuplements en place, comment apprécier l'urgence de la réaction.

Une fois ce diagnostic posé, s'il s'avère nécessaire d'agir, mais que faire ?

**Adapter les pratiques sylvicoles**

Devant la variabilité du climat, **le forestier est contraint d'agir dès aujourd'hui, mais avec prudence.** Il s'agit de relever le défi de l'adaptation de la gestion des peuplements forestiers pour maintenir une forêt multifonctionnelle, productrice de bois de qualité, de biens et de services (biodiversité, eau, accueil, carbone...).

L'outil Bioclimsol utilise la répartition des essences dans leur aire naturelle pour en déduire des seuils climatiques. Ceux-ci peuvent être comparés aux conditions climatiques locales d'une forêt pour comprendre la présence, la productivité, la vulnérabilité ou le risque de dépérissement des différents essences.

Cet outil est à affiner pour le rendre opérationnel et facile d'accès. Il en est de même d'autres outils comme le LAI<sup>□</sup>, la RUM<sup>□□</sup>, etc. Le diagnostic du peuplement en place est particulièrement important. L'observation du peuplement, grâce à la méthode ARCHI, précise l'état de stress et l'évolution probable : résilience ou dépérissement irréversible des arbres (voir FE n° 200 et 203). Mise au point sur le chêne, la méthode ARCHI est développée sur plusieurs autres essences. Ce diagnostic de peuplement doit évoluer sous forme de check-list (système expert). Pour aller plus loin, il s'agit de concilier les méthodes ARCHI et DEPEFEU du DSF, qui allient surveillance et diagnostic, et de mettre au point des outils de description à l'échelle du peuplement.

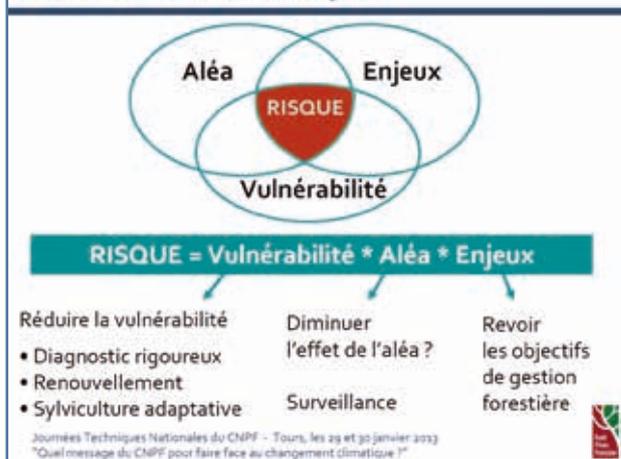
**Comprendre les phénomènes en cours**

Le programme « Chênaie atlantique 2009-2014 » est le fruit d'une coopération interrégio-

□ LAI : Leaf area index: surface (en m²) de feuilles exprimée par unité de surface au sol, en moyenne entre 4 et 8 m².

□□ RUM : réserve utile maximale, quantité d'eau utilisable par les plantes, contenue dans l'épaisseur du sol exploré par les racines.

## Anticiper et Développer la culture du risque



Les effets du changement climatique seront différents selon les régions. À partir du diagnostic, il n'y a pas de « recettes », ni de réponses techniques applicables systématiquement, mais des orientations préconisées au cas par cas.

**Les CRPF en régions conseilleront des solutions techniques évolutives suivant les situations. Les principes retenus sont :**

- progressivité par rapport à la sylviculture menée habituellement,
- réversibilité et souplesse pour éviter des impasses techniques,
- mesures sans regret et sans sacrifice économique.

Le métier de conseil technique va impérativement évoluer par des connaissances en amélioration permanente. Il faut adapter le discours et expérimenter des initiatives ou innovations techniques.

Quatre options sylvicoles d'adaptation émergent des discussions des ateliers :

- **Éclaircir tôt et régulièrement,**
- **Raccourcir les révolutions,**
- **Diversifier, mélanger,**
- **Substituer.**

Par exemple : un peuplement encore jeune et productif en place donne quelques signes de dépérissements. Les simulations de climat futur annoncent une intensification des sécheresses ; vers quel choix sylvicole faut-il s'orienter ? Réduire la densité a l'avantage de limiter la concurrence vis-à-vis de l'eau, de produire rapidement des arbres de dimensions commerciales et de pouvoir récolter plus vite ; mais cela a des inconvénients sur le contrôle de la végétation concurrente, sur la grosseur des branches, sur la forme du tronc... le forestier doit faire le bilan des avantages et inconvénients pour optimiser ses choix.

© J. Becquey, CNPF-IDF



En pratique

### Éclaircir

Éclaircir les peuplements forestiers a pour intérêt de réduire la demande en eau, dans un contexte annoncé de sécheresses estivales plus fréquentes et intenses, mais aussi de baisser le capital sur pied et de rendre la sylviculture plus dynamique. Le fonctionnement de l'eau dans le sol en interaction avec le système racinaire est trop peu connu ou abordé. La notion de bilan hydrique n'est pas familière pour les forestiers. La réserve en eau d'un sol, l'indice foliaire d'un peuplement, sont des notions que devront acquérir les sylviculteurs. Face au manque de précipitations durant certaines périodes, une sylviculture plus dynamique mais avec des éclaircies douces à fréquence régulière, pour éviter les à-coups et les stress et pour préserver les sols, peut être mise en œuvre. Une sylviculture sobre en eau nécessite des éclaircies douces à fréquence régulière et rapprochée, pour éviter les à-coups, les stress, et pour préserver les sols.

Sur le principe pourquoi pas ? Mais des questions ne sont pas résolues : quel est le rôle du sous-étage, comment va-t-il réagir si on le dynamise avec plus de lumière ?

Éclaircir, cela peut conduire à produire des arbres plus gros plus vite, mais seront-ils plus vulnérables ou plus résistants ?

Avoir des arbres à houppiers plus développés, est-ce une bonne solution ? Un besoin est exprimé de se former à l'utilisation d'outil comme Biljou® (bilan hydrique journalier), mais également de traduire la demande en eau des peuplements (LAI) en indice relié aux mesures dendrométriques familières des forestiers (surface terrière ?).

D'autres aspects ont été soulevés, comme le rôle des forêts sur la qualité et la quantité d'eau disponible. Il est nécessaire que les forestiers communiquent dans ce domaine.

### Raccourcir les révolutions ?

Des avantages indéniables vont dans le sens d'un raccourcissement des révolutions : plus grande réactivité, moins d'exposition aux risques, plus de résistance des peuplements jeunes. Du point de vue économique actuellement, les bois de petites dimensions sont en phase avec la demande industrielle. Cependant, les personnels du CNPF mettent en avant un certain nombre d'inconvénients.

Comment maintenir la fertilité avec plus d'exportation de bois jeunes riches en éléments minéraux ?

Quels risques de perte de biodiversité en supprimant des stades de gros bois dans les peuplements ? Ce modèle favoriserait plutôt la monoculture mécanisée, qui s'éloigne de l'image de la forêt « naturelle ». Il faut donc tester son acceptabilité sociale avant de le conseiller massivement.

Du point de vue économique, la production de petits bois rétrécit l'éventail des possibilités de commercialisation à quelques marchés.

Enfin, la politique forestière est fondée sur la multifonctionnalité. Le raccourcissement des révolutions implique au contraire le développement d'un modèle industriel spécialisé, qui peut remettre en cause cette diversité d'objectifs.



© J. Rosa, CRPF Centre



*Expérimenter : mise en place d'un suivi d'une plantation de cèdre en région Centre*

*Substituer : futaie de cèdre de l'Atlas sur les Avants-Monts jurassiens.*

Mais à ce stade de la réflexion, il manque encore les clés du choix de l'option à prendre en fonction du diagnostic. Le passage du diagnostic à l'action doit être mené aujourd'hui. Les pièces du puzzle sont sur la table, l'assemblage est à faire, avec des éléments économiques.

## Anticiper et agir

### Anticiper les crises

**Le forestier doit apprendre à raisonner en termes de probabilité du risque.** L'ampleur de l'évolution, la vitesse et la forme du changement climatique restent encore incertaines. Notre travail consiste à réduire la vulnérabilité de nos peuplements, car nous avons peu de moyens de jouer sur les aléas (tempêtes, incendies...).

Face aux dépérissements à venir, un **Guide de gestion des forêts en crise** est le fruit d'une collaboration Inra, ONF, RMT AFORCE. Cet outil, diffusé largement, prépare la mise en œuvre des interventions en proposant un diagnostic et un langage communs.

Face à l'augmentation probable des impacts du changement climatique et des ravageurs, le CNPF développe avec le DSF, la surveillance des forêts grâce à ses nombreux « correspondants observateurs », souvent techniciens de CRPF. Ce réseau échange régulièrement et partage les expériences et les expertises, pour apporter le conseil le plus pertinent aux propriétaires.

### Gérer les dépérissements

Le changement climatique est en marche, les symptômes de dépérissements apparaissent. Comment caractériser un dépérissement ?

Il est nécessaire de connaître la dynamique des dépérissements, pour apprécier la possibilité de réagir. La part strictement liée au changement climatique est difficile à identifier, les raisons étant souvent plurifactorielles. Des outils de diagnostic comme le protocole

ARCHI sont indispensables pour identifier l'urgence de faire... ou ne rien faire.

Plus largement, le traitement des dépérissements peut relever de la gestion de crise, car on sort de la « gestion normale » des forêts (cf. Guide de gestion des forêts en crise).

Les outils de diagnostic aident les forestiers à éviter les excès de gestion et l'enfermement dans des normes générales.

L'importance des collaborations avec le DSF est confirmée pour adapter des itinéraires techniques et répondre aux besoins d'expérimentations.

À l'issue des ateliers, quelques constats et enseignements ressortent comme des points forts sur lesquels le CNPF doit prendre des initiatives.

### Rendre acceptable ces changements

Au delà des aspects techniques, l'adaptation au changement climatique pose et posera des questions d'acceptabilité sociale évoquées dans plusieurs ateliers.

Raccourcir les rotations, substituer les essences (et introduire des exotiques), modifier la composition ou la structure des forêts dans le sens d'une forêt spécialisée, plus standardisée, plus industrielle, productrice de petits bois, sont ressentis comme des obstacles à dépasser.

Le modèle forestier français, basé sur la multifonctionnalité, demandera-t-il à être redéfini ? Les environnementalistes, la société en général et les forestiers eux-mêmes l'accepteraient-ils ? Agir trop tôt, tant que rien n'est visible, posera certainement des problèmes de compréhension de la part des milieux non forestiers. Intervenir trop tard sera tout autant reproché. Il faut donc communiquer en amont et être transparent au moment des crises pour expliquer la nécessité des adaptations afin d'assurer la pérennité des services rendus à la société... sans oublier que la production de bois assure la quasi-totalité des revenus des forestiers.



**Expérimenter avant d'introduire des essences en substitution : jeune cèdre de l'Atlas dans un essai comparatif.**

Aller au devant des débats, les solliciter, être force de propositions.

**“Au final, les forestiers doivent sortir du bois pour communiquer.”**

### Expérimenter, innover

Un des cœurs de métiers du CNPF est l'expérimentation, avec une nouvelle exigence d'innovation. Les ateliers font référence au besoin d'expérimenter pour s'assurer que les nouvelles pistes sont viables, mais aussi pour démontrer leur faisabilité technico-économique. Les forestiers ont toujours expérimenté : les enseignements de milliers de parcelles d'essais doivent être tirés sous l'angle du changement climatique.

Le récent **Guide de l'expérimentateur**, édité par l'IDF, rassemble le savoir-faire de l'établissement en matière d'expérimentations. Il intègre les exigences de la Recherche, pour que les données puissent être exploitables statistiquement. Il définit les démarches nécessaires ou les outils disponibles pour mieux valoriser l'existant, mettre en place de nouvelles expérimentations et comment suivre, tester ou comparer des sylvicultures adaptatives.

Le Pôle expérimentation forêt privée organise l'expérimentation et met en place une démarche et des outils communs comme la base informatique de données Ilex.

Le changement climatique plaide pour la mise en place de nouvelles expérimentations sur les provenances et les nouvelles essences, sur les sylvicultures adaptatives, sur les mélanges, les révolutions courtes. Une attention doit être apportée pour utiliser des protocoles communs assurant la traçabilité des expérimentations et la mémoire des échecs. Ces expérimentations forestières n'offriront des résultats qu'au bout d'au moins dix ans de suivi. La mise en place de placettes d'observations ou de comparaisons est donc dès à présent indispensable si l'on souhaite obtenir des résultats avec suffisamment de recul dans les années à venir.



### Faire le plein d'essences : diversifier, mélanger ?

Le mélange présente des avantages multiples *a priori* évidents : dilution des risques, augmentation de la biodiversité... Il valorise la diversité des stations, les productions autres que le bois, assure un bon fonctionnement des écosystèmes, respecte le paysage, permet une meilleure résistance aux parasites et dégâts de gibier, et finalement met en œuvre une résilience et une adaptabilité aux aléas climatiques (tempêtes, sécheresse...) plus importante.

Le mélange est pourtant peu, voire pas conseillé face au changement climatique, car il comporte des contraintes techniques et économiques multiples.

En effet, sait-on comment fonctionnent les mélanges, avec quelles essences ? Comment commercialiser un assortiment de produits variés ? En dehors des dynamiques naturelles qui s'appuient depuis longtemps sur le mélange, cette technique, réservée à des propriétaires volontaires, demande un savoir faire et/ou l'appui des techniciens (dossier FE n° 209).

Quelques propositions sont faites :

- recueillir des expériences pour un document de vulgarisation national avec déclinaisons régionales,
- élargir la palette des essences avec les précisions sur leur autécologie,
- proposer des associations possibles d'essences mieux validées,
- valoriser les réseaux d'observation (Réseaux européens, AFI, OREF...), enfin prévoir des aides incitatives spécifiques.

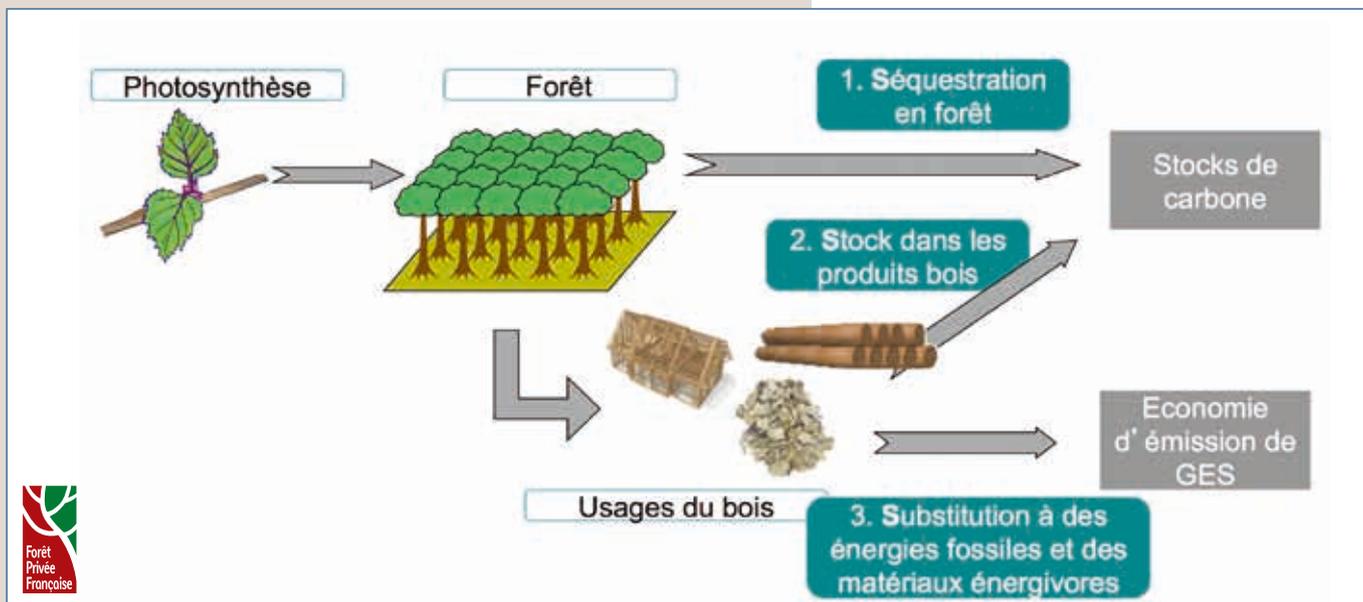
Diffuser des messages de bons sens. Toute monoculture est fragile. Faites le plein d'essences dans la même station, pour ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier. Mais surtout il a été rappelé un grand message d'espoir : « Tout le monde ne sera pas mort au même moment » !

### Substituer les essences ?

Les participants de l'atelier ont mis en évidence les besoins, les freins et les pistes pour argumenter le conseil.

Le changement climatique peut être l'occasion pour renouveler certains peuplements. Quelques-unes des essences présentes ne seront plus adaptées au climat futur. Cependant, des contraintes sociétales ou réglementaires sur l'introduction de nouvelles essences ou provenances subsistent.. L'expérimentation doit être renforcée par des valorisations des arboretums, des protocoles unifiés, la traçabilité des essais et la désignation de pilotes par thème de travail, en veillant à valoriser les résultats par un retour régulier vers le terrain. Les contraintes d'ordre financier sont également à surmonter, pour investir malgré la prise de risque. La forêt française a besoin de recherche, pour une meilleure connaissance de l'écologie des essences et pour l'amélioration génétique...

Au-delà des débats avec les environnementalistes, s'appropriier ces investigations est un investissement d'avenir : le sylviculteur doit être force de propositions.



## La forêt atténue le changement climatique

Des peuplements adaptés, qui résistent aux à-coups du climat, sont des peuplements qui produisent et atténuent le changement climatique de trois façons (les 3 S) :

- la **séquestration** de carbone en forêt, qui se fait par la croissance de l'arbre : le forestier a donc une légitimité pour parler de puits de carbone ;
- le **stockage** de ce même carbone dans les ouvrages en bois ;
- la **substitution** de matériaux énergivores par le bois matériau, et d'énergies fossiles par le bois énergie, ressource renouvelable.

Le carbone est au centre du financement des actions sylvicoles futures et doit être pris en compte dans les choix techniques.

L'atténuation est d'autant plus efficace qu'elle est portée par une action de la filière forêt-bois.

Les 3S : séquestration, stockage et substitution, constituent la clé de la réussite de l'atténuation.

Le CNPF et la Fédération des forestiers privés de France développent une expertise reconnue « *made in Forêt Privée* », qui montre que la sylviculture est bonne pour la planète. Avoir des peuplements productifs, couper du bois pour des utilisations nombreuses permet d'éviter des émissions de carbone fossile. Ce bilan est positif.

Aujourd'hui, le CNPF contribue au développement des projets « carbone forestier », et valorise l'expertise acquise.

### S'organiser, s'informer, se former

Pour anticiper -donc moins subir- les impacts du changement climatique sur la forêt, il est essentiel de s'organiser, s'informer et se former. Les compétences internes seront renforcées dans le cadre du réseau des correspondants changement climatique du CNPF. Ces derniers doivent agir en relais convaincus et convaincants pour diffuser l'information en région et faire connaître les expériences régionales.

Le rôle essentiel des correspondants « changement climatique » dans chaque CRPF permettra de favoriser les initiatives interservices, et les échanges interrégionaux. Leur formation à la maîtrise des outils existants pour connaître le climat, facilitera l'argumentation et l'application des solutions techniques, qui constituent l'enjeu de ces journées, pour les transmettre aux propriétaires forestiers.

### Communiquer, être entendu et compris

Un constat : le discours de la prévention passe mal auprès des propriétaires forestiers. Il y a une forte inertie tant qu'il n'y a pas de catastrophe, et une mémoire courte des événements. Tire-t-on vraiment les enseignements des crises passées ?

Un effort particulier, par des messages appropriés, doit être apporté pour améliorer la prise de conscience des décideurs.

Les catastrophes permettent de remettre sur le devant de la scène les recommandations, de relancer des expérimentations. Il s'agit alors d'en profiter pour promouvoir les nouveaux itinéraires techniques adaptatifs afin d'éviter ou atténuer les effets des crises à venir.

Dans le cas d'évènements progressifs, peu visibles, il sera plus complexe de faire adopter des gestions adaptatives par les forestiers. Leur valeur ajoutée devra être argumentée de point de vue économique et technique. Dans quelle mesure les options d'adaptation s'avèrent-elles économiquement viables ?

C'est pourquoi, le diagnostic climatique, avec la mise à disposition des forestiers de données climatiques actualisées sur des séries longues (30 ans), sera un élément de prise de conscience des changements lents, mais significatifs sur le long terme forestier.

### Renforcer nos relations avec les groupes de développement

Ce défi est d'envergure, le lien privilégié avec le développement forestier *via* les syndicats, les Cetef et les groupements de développement et toute forme de regroupement est une force et une opportunité pour expérimenter, et aussi pour vulgariser. Le CNPF n'a pas l'ambition d'agir seul, le partenariat avec ces différents groupes de progrès est à rechercher et renforcer.

Faire des forestiers des acteurs du changement climatique qui sensibilisent la filière forêt bois à la culture du risque et à la gestion de crise, est un défi majeur.

Vulgariser l'usage de diagnostics, sensibiliser à la surveillance, apprendre et accepter de décider avec des données évolutives, où rien n'est figé, telle sont les évolutions du métier de forestier au XXI<sup>e</sup> siècle.

Lors de ces journées, le comportement des propriétaires forestiers vis-à-vis des risques était sous-jacent. Cette question est majeure pour organiser le conseil technique dans les années qui viennent. Le forestier est habitué à décider en avenir incertain sur les prix des bois, sur les accidents sanitaires, les tempêtes... Le changement climatique est une incertitude de plus, d'importance, mais surtout incontournable et irréversible à horizon humain. Il faudra adapter les peuplements à ces nouvelles conditions. À partir de quel seuil, de quel événement, le propriétaire va-t-il décider de modifier sa gestion ?

L'incertitude est le moteur de l'action, sans incertitude, pas de décision à prendre, il suffit d'attendre.

### Décider d'agir, c'est faire un pari sur l'avenir pour atteindre un objectif

Mais, l'aversion au risque peut-elle être un moteur de l'adaptation ? Un forestier averse au risque agira-t-il plus et mieux ? Pas sûr ! Vers quel avenir l'adaptation mène-t-elle ? Vers une nouvelle incertitude encore moins bien maîtrisée ? Finalement, la situation actuelle étant la seule connue, on peut être tenté d'attendre. Mais trop attendre peut mener à être totalement inadapté et à devoir supporter des coûts insupportables.

Fort du diagnostic, agir dès aujourd'hui peut permettre des opérations peu perturbantes, peu coûteuses, réversibles, et sans regrets (il aurait fallu le faire). La stratégie est alors d'étaier dans le temps, et d'éviter d'avoir à gérer des crises sur de grandes surfaces et à mobiliser et à commercialiser de gros volumes de bois dans des conditions financières souvent défavorables.

L'argumentaire économique, basé sur la probabilité de gain ou de perte selon les options sylvicoles choisies, sera un élément de la boîte à outils que le forestier doit constituer.

Les trois moteurs pour réussir l'adaptation des forêts aux changements climatiques sont :

- le développement des **connaissances**, pour mieux comprendre les phénomènes, leurs conséquences ;
- la **rentabilité financière**, qui est indispensable pour assurer les investissements nécessaires au changement, car l'adaptation a un coût ;

- une **politique publique** d'accompagnement de ces changements, qui est primordiale pour donner le cap et des moyens à la hauteur du défi.

**Henri Plauche-Gillon, président du CNPF**, et les institutionnels présents ont salué la maturité des réflexions, le sérieux et la motivation de l'ensemble des agents de l'établissement. « Grâce à votre implication, la forêt privée est en marche : elle agit, anticipe et s'adapte face au changement climatique, pour maintenir une forêt de production de biens et services. ». Il insiste sur la nécessité de donner les moyens à cette politique ambitieuse. « Le changement climatique transcende les capacités d'adaptation des propriétaires forestiers qui, sans l'appui des pouvoirs publics, ne pourront rien faire. »

Il conclut : « Si les forestiers n'ont pas les moyens de s'adapter, cela créera un trou de production de la forêt française dans 50 ans. Fort du soutien de l'État et de la mobilisation des forestiers, nous pouvons relever le défi d'une forêt productive, qui répondra aux demandes sociétales. » ■

## Les actions en cours

Quelles sont les actions que le CNPF met en place pour permettre l'adaptation des forêts face au changement climatique ?

La première action est de renforcer le rôle du réseau des correspondants changement climatique des CRPF avec l'objectif de les mobiliser plus fréquemment, de les former à l'utilisation de la boîte à outils dès 2013, et d'en faire des relais locaux d'expertise.

Ainsi, dès juin 2013, une information est organisée pour faire le tour des outils actuellement disponibles.

Une convention est en cours de finalisation entre Météo France et le CNPF pour la mise à disposition de données dans le cadre d'études et de recherche appliquée.

Des études régionales démarrent pour identifier les facteurs de vulnérabilité des essences.

Une action concertée est engagée avec le DSF pour la stabilisation du protocole ARCHI et sa complémentarité avec le protocole DEPEFEU.

De nouveaux modules de formation à destination des sylviculteurs sont en cours de conception, les premières actions de sensibilisation sont engagées.

Le CNPF initie une démarche commune de conseils adaptés aux forestiers.

De nouveaux outils innovants d'aide à la décision assisteront le gestionnaire dans ses décisions.

Il n'existe pas de recettes sylvicoles applicables de manière uniforme, plutôt des itinéraires adaptatifs pour agir avec pragmatisme et prudence.

### Le constat partagé

- > Oui, le changement climatique est visible. L'ampleur et la vitesse du changement sont encore à affiner.
- > Les impacts en forêt sont déjà tangibles. Les arbres réagissent par :
  - l'**accommodation**, des changements de productivité sont mesurés,
  - l'**adaptation** par des allongements de la durée de végétation,
  - la **migration** d'espèces, déjà observée en montagne,
  - la **mortalité** due à l'augmentation et la fréquence de dépérissements d'arbres.

### Que peut-on faire ?

#### > Connaître et comprendre l'évolution des stations forestières

- Un diagnostic stationnel est un préalable indispensable à toute décision. Un bilan comprend :
  - un diagnostic climatique, pour affiner la connaissance du climat passé et actuel localement,
  - une analyse du potentiel stationnel : sol, ressource en eau, topographie, exposition,
  - un diagnostic sylvicole du peuplement, grâce aux outils Bioclimsol et au protocole ARCHI,
  - à comparer avec l'autécologie des essences présentes et potentielles, et leur seuil stationnel et climatique.

#### > Agir en adaptant nos pratiques sylvicoles

Un portefeuille d'actions progressives, réversibles, sans sacrifice économique est proposé :

- **éclaircir** régulièrement et à bon escient, pour une moindre consommation en eau,
- **diversifier** : les avantages multiples et les contraintes des itinéraires en mélanges sont à affiner,
- **raccourcir** les révolutions, possible sous certaines conditions,
- **substituer** par d'autres essences en dernier recours, avec prudence et vigilance.

#### > Atténuer le changement climatique

Pour atténuer le changement climatique, le forestier peut se demander quelle est la meilleure solution : stocker en forêt ? produire du bois énergie ? du bois d'œuvre ?

Tout dépend du pas de temps choisi : sur le long terme et avec une vision intégrée (les « 3 S » : stockage, séquestration, substitution), la production de bois d'œuvre s'avère être le meilleur choix pour la planète.

#### > Intégrer les risques

« Un risque, une vulnérabilité qui rencontre un aléa sur un enjeu »

Pour apprécier et composer avec les facteurs de risque il convient de :

- surveiller en développant les réseaux de suivis des dépérissements,
- identifier et mesurer les paramètres significatifs pour réduire la vulnérabilité,
- les intégrer et moduler suivant leur degré de gravité,
- acquérir et maîtriser un savoir-faire de gestion de crise.

#### > Anticiper en expérimentant et en innovant

- « Mutualiser, partager, échanger » devient une nécessité. Le réseau, les compétences, l'implication de chacun sont une richesse du CNPF.

- Il faut expérimenter aujourd'hui sur tout le territoire pour avoir des solutions demain, avec l'outil commun Ilex, base de données des expérimentations menées par les forestiers privés.

- Se tenir informé et informer : une démarche commune et individuelle de formation continue afin de développer une expertise interne de qualité.



**Le défi des forestiers : une forêt adaptée, productrice de bois et multifonctionnelle, capable d'atténuer le changement climatique. Cet enjeu est majeur pour la filière forêt-bois.**

# Plantation de pin maritime dans les Landes

## 2<sup>e</sup> partie : les travaux préparatoires

Par le CeteF des Landes, Sylvain Bazas et Thierry Carbonnière (CRPF Aquitaine), Jean Marc Billac et Julien Goullier-Lagadec (Chambre d'Agriculture des Landes)

*Les travaux du CeteF des Landes aboutissent à une synthèse des itinéraires de reboisement, de la préparation du sol jusqu'au premier entretien. Cet article décrit les travaux préparatoires du sol avant plantation, les meilleures techniques disponibles, issues des expérimentations menées en Aquitaine (1<sup>re</sup> partie parue dans FE n° 209).*



Les techniques de préparation du sol évoluent. Il est important de considérer que le travail du sol et la fertilisation sont les piliers de l'augmentation de la productivité du pin maritime depuis les années 60. La préparation du sol et la fertilisation ont pour objectif de faciliter la mise en place des plants, leur reprise et leur croissance.

Ainsi, la préparation du sol permet de :

- **supprimer la concurrence** de la végétation,
- **favoriser le développement du système racinaire** grâce à l'ameublissement des horizons superficiels du sol,
- **minéraliser la matière organique** des sols landais et permettre **la mise à disposition d'azote et d'éléments minéraux** pour les plants et les semis,
- **corriger la carence en phosphore des sols landais** par apport d'engrais phosphaté.

Aujourd'hui, divers outils de travail du sol existent et doivent permettre d'assurer une bonne qualité du travail dépendant de la largeur et de la profondeur travaillées, de la manière dont la matière organique est enfouie et de l'absence d'obstacle à l'enracinement.

### Travail du sol en plein ou partiel

**En plein**, la totalité de la surface est travaillée. En terrain sableux et naturellement bien drainé, le labour en plein accompagné d'un émiettage permet d'avoir **un sol plat** et une **colonisation équilibrée et symétrique du système racinaire** sans les risques de dégâts qu'une reprise des interlignes pourrait occasionner.

**En bandes**, le sol est travaillé **partiellement à l'endroit** où seront placées **les futures lignes de pins**. La largeur travaillée dépend de l'outil utilisé.

À l'heure actuelle, il n'existe aucun réseau de dispositifs expérimentaux permettant de comparer les 2 itinéraires techniques de manière scientifique.

En revanche, à dire d'expert et dans la bibliographie, un consensus se détache concernant l'intérêt agronomique d'un labour en plein par rapport à un labour à moitié sans reprise de l'interligne et ce pour des raisons évidentes d'harmonie du développement racinaire. On peut noter que dans le cas d'un labour à moitié, la majorité s'accorde à noter la qualité du travail si et uniquement si, ce dernier est couplé à un travail ultérieur (dans les 3 premières années) d'ameublissement de l'interligne. Mais dans ce cas, il y a un risque de blessure du système racinaire qui va nuire à la stabilité.

« Le labour en plein sur la totalité de la surface forestière a été longtemps préconisé pour éviter les deux inconvénients précédemment cités (cale de labour difficilement franchissable par les racines et gêne lors des entretiens). Cependant, seulement 15 % des reboisements sont réalisés avec le labour en plein. Sa désaffection provient de son coût et de la nécessité de faire un jalonnement pour assurer la plantation. »

« Cette technique que l'on devrait proscrire (le labour en bande) est pourtant plus couramment utilisée. Le labour en bandes connaît un large succès en raison de la faible dépense occasionnée, il présente, cependant de graves défauts. On considère que la technique du labour en bandes ne doit être qu'un pis aller, à n'utiliser qu'en cas exceptionnels. »

« Toutes les fois que des comparaisons méthodiques et raisonnables ont été faites, la supériorité du travail en plein a été flagrante. »

« Labour : dans tous les cas, le labour en plein est conseillé. »

□ P. Alazard, Afocel, La chaîne des travaux de reboisement 2003.

□□ H. Chaperon, Afocel, La sylviculture du pin Maritime en Aquitaine 1986.

□□□ J.-P. Maugé, CPFA, Le pin maritime, 1987.

□□□□ CRPF, fiche Pin maritime, 1990.



## Les outils du travail du sol

- On trouve aujourd'hui sur le massif :
- des outils traditionnels, **charrue à socs ou à disques**, permettant de réaliser un travail du sol en plein ou en bandes,
- des outils traditionnels adaptés tels que les **charrues escamotables** (ou **non-stop**) qui se soulèvent lorsqu'un obstacle (souches) se présente, ou la **trisos + 1 disque destiné à combler la dérayure** (lors d'un labour en bande),
- des outils spécifiques à une chaîne de travaux propre à certaines entreprises (**train d'outils...**),
- d'autres outils qui effectuent un travail localisé (dent sous-soleuse, crabe, planteuse avec décompacteuse, potet travaillé à la tarière montée sur tracteur...).

### Les charrues à socs

C'est le matériel le plus utilisé depuis le début de la ligniculture, il constitue la référence pour le travail du sol. Il a connu une évolution continue liée à l'augmentation de la puissance des tracteurs : passage de la charrue mono-soc à la bi-soc, puis apparition de la charrue « non-stop » bi- ou tri-soc. Parallèlement, le gabarit des socs est passé de 14 pouces à 18-20 pouces.

La **charrue rigide** est généralement **bisoc** de 16 à 20 pouces. Elle doit être **relevée** au passage des souches.

La **charrue non-stop** s'est largement répandue chez les entrepreneurs. Elle permet le **relevage indépendant de chaque soc** au niveau des souches sans arrêter la progression du tracteur. La largeur de travail va jusqu'à 26 pouces.



#### Travail du sol

Il peut se faire **en plein ou en bande**.

#### ■ Le labour en plein

La totalité de la surface de la parcelle est travaillée que ce soit, à la charrue bisoc, trisos ou quadrisoc à une profondeur de 30 à 40 cm.

LABOUR EN PLEIN	
AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Prospection racinaire facilitée du fait d'un volume de terre prospectable élevé et homogène	Jalonnement de la ligne à émietter
Pas de nécessité d'un travail du sol de l'interbande précoce du fait de la faible colonisation par la végétation concurrente	Pas de micro-drainage éventuel

#### ■ Le labour partiel

- **à la bisoc** : la moitié de la surface est travaillée grâce à 2 passages de tracteur. Le volume de terre travaillée correspond à 4 socs (environ 2 mètres de large). Le volume de terre ameubli est lui de 3 socs (environ 1,5 m de large). En effet, un ado est versé sur la zone non travaillée.

**Remarque** : la charrue 4 socs donne les mêmes résultats que deux passages de charrue bi-socs.

On note l'apparition d'une cale de labour autrement appelée dérayure en bordure de la zone non travaillée.

La plantation ne doit se faire que sur la zone labourée et ce, entre l'extrémité du 1<sup>er</sup> ado et le 3<sup>e</sup> ado.

- **à la trisos sans disque reboucheur** : ce sont les 3/8<sup>e</sup> de la surface qui sont travaillés grâce à un passage de tracteur tirant un outil dont les trois versoirs mesurent 20 pouces. Le volume de terre travaillé correspond à 3 socs (environ 1,5 mètres de large) sur 35 à 40 cm de profondeur. Le volume de terre ameubli est lui de 2 socs (environ 1 m de large) sur 35 à 40 cm de profondeur. En effet, un ado est versé sur la zone non travaillée.

On note alors la présence d'une dérayure plus profonde que celle provoquée par une charrue bi-soc.

- **à la trisos avec disque reboucheur** ou **comblement de la cale** (créé par P. Sadot, Planfor) : Ce sont plus des 3/8<sup>e</sup> de la surface qui sont travaillés grâce à un passage de tracteur tirant un outil dont les trois versoirs mesurent 20 pouces et sur lequel est installé un disque dit « reboucheur de cale ». Le volume de terre travaillé correspond à 3 socs + la taille du disque (environ 1,75 mètre de large) sur 35 à 40 cm de profondeur. Le volume de terre ameubli est lui de 2 socs (environ 1 m de large) sur 35 à 40 cm de profondeur. En effet, un ado est versé sur la zone non-travaillée.

Dans ce cas, la dérayure est en partie comblée par le disque.

**Remarque** : La plantation ne doit se faire que sur la zone labourée et ce entre le 1<sup>er</sup> ado et l'extrémité du 2<sup>e</sup> ado.



© JS Planfor

Charrue trisocs  
+ 1 disque de  
Planfor.

### LABOUR PARTIEL

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Micro-drainage éventuel	Dérayure importante à combler (moins pour une charrue trisoc avec disque reboucheur)
	Cernage des racines par le lissage de la dérayure et l'air présent dans celle-ci quand elle n'est pas refermée (sauf avec le disque reboucheur)
	Répartition hétérogène des racines (sauf avec le disque reboucheur)
	Gêne occasionnée par la dérayure lors des travaux ultérieurs quand elle n'est pas refermée (sauf avec le disque reboucheur)
	Obligation d'ameublir l'interligne afin de limiter ces effets néfastes
	Plantation à réaliser avec précaution pour s'éloigner de la dérayure et de la zone non labourée

#### Pour tous types de stations

Le labour à la charrue à socs a fait ses preuves sur **tous les types de landes**.  
 - Sur **lande humide difficile à drainer**, le labour partiel peut être conseillé pour assurer un micro-drainage à condition d'être associé à un réseau permettant la sortie de l'eau vers les fossés.  
 - **Dans toutes les autres landes**, d'un point de vue technique, le labour en plein doit être **privilégié** pour faciliter l'enracinement (symétrie du système racinaire, homogénéité, prospection...).

#### Remarque : parcelles nettoyées après tempête

Les charrues peuvent être utilisées quelle que soit la technique de nettoyage mise en œuvre. Cependant, après broyage ou rognage superficiel des souches, le risque existe de soulever les morceaux restant sous la surface du sol. Sur terrains encombrés, la qualité du travail du sol est améliorée avec l'utilisation des charrues non-stop.

### Les charrues à disques

Ce matériel **bi** ou **tri-disques** est déjà ancien mais **peu répandu** dans le massif.

Le labour s'effectue à l'aide de disques incurvés qui retournent la terre au fur et à mesure de l'avancement du tracteur et pénètrent dans le sol par le simple poids de l'outil.

#### Travail du sol

Cet outil est utilisé **en labour en plein ou partiel**. **Cependant**, la partie travaillée par les disques est de faible largeur et des difficultés de pénétration dans le sol peuvent être observées.

La profondeur de labour est de **15 à 30 cm**, les **sillons** sont généralement **couchés**, la profondeur travaillée dépend de l'importance du tapis herbacé, du poids de l'outil et de l'angle d'attaque des disques.

La **reprise du labour**, quant à elle, sera plus délicate par rapport à un labour avec charrues à socs. Cela nécessitera le **passage d'un cover-crop**.

#### Stations

Cet outil ne peut pénétrer correctement dans le sol que lorsque le **couvert végétal est peu important** (**landes à tendance sèche**).

#### Remarque : parcelles nettoyées après tempête

Cet outil ne donne de bons résultats, que si le nettoyage ne laisse que des **débris de très petite taille (broyage, enfouissement)**. L'essai de Cazalis (suite à la tempête de 1999) a montré une recolonisation plus rapide de la végétation.

## Le train d'outils

Ce matériel est composé d'un ensemble d'outils reliés entre eux, portés sur le relevage du tracteur et il nécessite une forte puissance (plus de 200 CV).

### Travail du sol

Cet outil est **utilisé en labour partiel**.

Une **étrave** décape l'horizon superficiel sur une profondeur de **5 à 6 cm** et le repousse sur l'interligne.

Puis une **dent décompacteuse** escamotable décompacte la ligne sur **40 à 60 cm** de profondeur.

Un jeu de **disques** travaille le sol en formant une légère butte qui est tassée par le passage d'un **petit rouleau**.

L'engrais peut être incorporé en localisé sur la ligne par l'intermédiaire de la dent décompacteuse.

### Stations

Cet outil est utilisable sur **tous les types de stations** avec cependant un risque d'engorgement sur les poches mal drainées en landes humides.

**Technique à déconseiller en lande humide non drainée.**

### Remarque : parcelles nettoyées après tempête

L'étrave pousse tous les rémanents dans l'interligne : selon leur taille, ils pourront constituer une gêne pour les entretiens futurs.



## La charrue rotative

Cet outil a été mis au point par l'Afocel (aujourd'hui FCBA) et est associé à une destruction chimique de la molinie. C'est une roue rotative qui permet un travail par brassage d'un volume de terre de 60 cm de largeur et de 30 à 40 cm de profondeur. La houe doit être relevée pour passer les souches. Cette technique nécessite un désherbage en plein du tapis herbacé l'été précédant le travail du sol (glyphosate).

### Travail du sol

Ce travail permet de réaliser en même temps le travail du sol, sa reprise et l'apport d'engrais.

La fertilisation, apportée au moment du labour, est localisée sur la bande travaillée. Il n'y a pas de tassement de la partie labourée. La partie travaillée très souple peut donc se gorger d'eau par fortes pluies et cet excès d'eau n'est pas favorable aux plants.

Cet outil peut être gêné par l'abondance et la grosseur des rémanents, notamment après déchetage. Il est peu adapté aux chantiers avec beaucoup de rémanents.

### Stations

Cette technique, conçue pour les landes humides à molinie dominante, est réservée à ce type de station.

## La dent sous-soleuse associée à un travail du sol complémentaire

Le sous-solage permet de briser les horizons indurés présents dans certaines stations du massif des Landes de Gascogne (alios). Il peut augmenter la profondeur du sol prospectable par les racines (meilleur ancrage et amélioration de la nutrition), faciliter l'infiltration de l'eau mais aussi les remontées capillaires. Ce travail du sol doit être effectué en condition sèche afin de bien fissurer ou éclater les couches compactes. Le sous-solage ameublisse le sol sans en bouleverser les horizons.

### Travail du sol

Cet outil est utilisé uniquement en travail **localisé sur des lignes espacées de 4 m**.

Il s'accompagne obligatoirement d'un travail du sol complémentaire (crabe ou charrue ou cover-crop).

Les dents utilisées avant travail du sol complémentaire peuvent travailler :

- pour une **dent sous-soleuse**, jusqu'à une profondeur de **120 cm**,

- pour une **dent de décompactage**, jusqu'à une profondeur de **70 à 80 cm**.

Le crabe est constitué de 2 trains de disques montés sur des bras indépendants et escamotables. La pénétration dans le sol se fait par le poids de l'engin.

Un **débroussaillage préalable** est indispensable pour faciliter l'entrée des disques dans le sol.

La faible **profondeur du travail (10 à 20 cm)** entraîne une recolonisation très rapide de la végétation concurrente.

### Stations

La technique s'applique en **priorité aux stations humides** après désherbage chimique préalable. Sur les landes mésophiles (stations à fougère), il y a un risque de repousse très vigoureuse.

### Remarque : parcelles nettoyées après tempête

Le crabe pénètre difficilement dans les sols encombrés : technique peu adaptée aux parcelles avec beaucoup de rémanents ou avec des souches enfouies à faible profondeur.



## Les autres outils

Il existe une série d'autres outils travaillant le sol et/ou effectuant la plantation pour lesquels nous n'avons pas ou peu de recul expérimental. Ces matériels permettent parfois de limiter le nombre de passages d'engins en combinant divers outils (charrues, cover-crop, épandeur d'engrais, planteuses...). D'une façon générale, ils travaillent le sol plus ou moins superficiellement. Voici les principaux rencontrés au sein du massif.



### La charrue multifonctionnelle

Cet outil mis au point en 2008 par la CAFSA et le Cemagref intègre le concept « trisoc », l'épandage d'engrais localisé et le tassement-émiettage qui en constitue l'innovation majeure. Le sol est labouré, fertilisé et préparé à la plantation en un seul passage de tracteur.

Il semble particulièrement adapté sur les terrains légers : landes sèches et mésophiles. Les landes à molinie, plus difficiles à travailler, sont traitées par ce nouvel outil après un épandage de glyphosate.

### La planteuse « FORAVENIR »

Un seul modèle est disponible et utilisé par l'entreprise Dupont (Jean-Louis). Le principe repose sur un désherbage chimique systématique au glyphosate (landes humides et mésophiles), suivi du passage d'un scarificateur afin de faciliter le passage de la planteuse. Une étrave ouvre le sol pour permettre à l'opérateur installé dans la machine de déposer le plant puis deux roues parallèles et obliques viennent favoriser le tassement symétrique autour de ce dernier. Cette machine intègre un épandeur d'engrais.



### Le Cover-crop non-stop

Cet outil novateur a été mis au point en 2008 par Ménard-Darriet-Cullerier pour des tracteurs à partir de 135 CV. Il est monté soit en disques à cranelés soit en disques fléaux dit de labour. Il peut intégrer un épandeur.

Avec les disques fléaux, le sol est labouré jusqu'à 35 cm avec le premier train de disques, puis émietté avec le second en un seul passage de tracteur. L'apport d'engrais est simultané et localisé.

Il est adapté à tout type de sol, mais est préconisé sur les sols légers quelle que soit la végétation présente.

#### Résumé

Le CeteF des Landes présente une synthèse des itinéraires de reboisement pour la reconstitution par plantation de pin maritime dans les Landes. Cet article reprend les travaux préparatoires du sol, expose les avantages et inconvénients des diverses méthodes et outils disponibles pour faciliter la mise en place et la croissance des plants.

#### Mots-clés

CeteF des Landes, reconstitution, plantation, pin maritime, travaux.

Crédits photos : CPFA-IDF-CNPF

Le tableau reprend les avantages – inconvénients des différentes techniques présentées.

	+	-
<b>Charrues à socs</b>	- <b>Polyvalentes</b> quelle que soit la station ou la technique de reboisement (semis ou plantation).	- Des morceaux de souche de taille trop importante occasionnent des <b>bourrages entre les versoirs</b> et sont difficilement retournés et enfouis. C'est le cas à la suite d'un <b>déchiquetage grossier ou d'un broyage des souches</b> qui laisse en terre des morceaux importants. - Difficultés dans les parcelles avec un mulch épais et continu après broyage en plein.
<b>Outils à disques</b>	- <b>Après déchiquetage</b> , roulent sur les morceaux de souche sans les soulever.	- Limités aux stations à tendance sèche pour la charrue à disques. - Mauvaise pénétration dans le sol lorsque le volume et la taille des <b>rémanents</b> sont <b>importants</b> . Il en résulte un <b>labour de mauvaise qualité</b> .
<b>Train d'outils</b>	- <b>Polyvalent</b> , mais moins bien adapté aux stations humides non drainées. - <b>L'étrave</b> permet d'écartier les rémanents (ou un mulch épais) avant le travail du sol. - Retarde la réapparition de la végétation concurrente sur la bande travaillée.	- Faible largeur travaillée (équivalent à un passage de charrue bisocs). - Les interlignes peuvent être encombrés (éléments écartés par l'étrave selon la qualité du nettoyage). - Pas ou peu de mélange des horizons superficiels.
<b>Dent décompacteuse + Travail du sol complémentaire</b>		- Limité aux stations à alios superficiels. - Risque de mauvaise pénétration dans le sol et de travail insuffisant si le <b>volume et la taille des rémanents</b> sont <b>importants</b> . - Non adapté après nettoyage par <b>enfouissement des souches</b> ou <b>broyage</b> (risque de remonter les souches avec la dent décompacteuse).
<b>Charrue rotative</b>	- Permet l'apport localisé de l'engrais. - Le sol reste plat.	- Faible largeur travaillée. - La partie travaillée très souple (soufflée) peut se gorger d'eau par fortes pluies. - Risque de reprise rapide de la végétation concurrente sur la partie travaillée.

À retenir

CETE F



Élaboration de Modèles pour une Estimation Robuste et Générique du bois Énergie

# Le projet EMERGE : estimation de volumes et biomasses forestières françaises

- 1) CNPF-IDF
- 2) Inra Champenoux
- 3) FCBA
- 4) IGN
- 5) Irstea
- 6) Cirad
- 7) R & D ONF

Par Alice Gauthier <sup>(1)</sup>, Thiéry Constant, Laurent Saint-André <sup>(2)</sup>,  
Alain Bouvet <sup>(3)</sup>, Antoine Colin <sup>(4)</sup>, Patrick Vallet <sup>(5)</sup>, Marc Jaeger <sup>(6)</sup>, Christine Deleuze <sup>(7)</sup>

*Construire des tarifs de volume de biomasse ou de minéralomasse pour une utilisation sur les principales essences forestières dans différentes régions, tels sont les enjeux du projet de recherche Emerge.*



Suite au Grenelle de l'environnement, le mix énergétique de la France devra comprendre, à l'horizon 2020, 23 % de renouvelable, dont plus de 50 % pour la biomasse forestière. Les évaluations de potentiel de bois énergie estiment la ressource suffisante, mais avec de grandes incertitudes locales. Les outils d'estimation du cubage des houppiers et plus globalement les estimations de biomasse, de minéralomasse et de potentiel énergétique manquent. L'ONF et ses partenaires ont collaboré au sein du programme « bioénergies » de l'ANR (Agence nationale de la recherche) à travers le projet de recherche EMERGE : Élaboration de Modèles pour une Estimation Robuste et Générique du bois Énergie. Cet article expose succinctement les principes, les enjeux et les résultats.

## Estimations des volumes

La définition du volume marchand est variable suivant l'usage du produit, l'essence, la filière de transformation régionale. Les tarifs de cubage pour évaluer ces volumes varient avec la définition choisie, mais aussi d'une essence à l'autre et selon la région, la structure forestière. Au-delà du volume de bois d'œuvre, la part complémentaire de volume de l'arbre (bois d'industrie, bois énergie) est estimée avec des coefficients dits de houppier ou d'expansion, encore moins précis ; les mesures nécessaires pour les établir sont très laborieuses, et les facteurs de variation peu connus et hiérarchisés (essence, âge, structure de peuplement, région,...).

## Besoins de conversion en biomasse, minéralomasse, pouvoir calorifique

L'estimation des volumes utilisables en bois énergie est donc sujette à un cumul d'approximations. Lors des opérations de récolte/approvisionnement, le bois énergie est plutôt évalué en biomasse, soit sèche, soit fraîche (à 30 % d'humidité), ce qui nécessite cette fois une conversion par la densité du bois, là encore, variable d'une essence à l'autre et selon les conditions de croissance et la période de récolte. Enfin, il reste une question, encore peu connue mais essentielle, concernant l'évolution des pratiques de récolte et notamment des menus bois, le compartiment le plus fortement concentré en éléments minéraux. Dans un contexte de demande croissante en bois-énergie, évaluer la quantité des éléments minéraux, qui seraient exportés, est nécessaire selon différentes hypothèses de récolte, afin de mesurer les impacts potentiels sur les sites sensibles.

Il faut enfin confronter les questions induites de gestion de la fertilité au gain réel, ou bilan net, en énergie, ce qui suppose d'estimer le pouvoir calorifique, selon les compartiments et les découpes choisis.

## Enjeux du projet

Face au constat de disparité, d'hétérogénéité et d'insuffisance des outils existants, l'objectif du projet Emerge est de construire des tarifs de volume, biomasse ou minéralomasse assez robustes et précis, pour être utilisés dans différentes régions et pour les principales essences forestières métropolitaines.



Parmi les nouveaux outils, le laser terrestre : photo de la prise de scans en forêt de Pélicier à gauche et l'exemple d'un scan en forêt de Champenoux à droite.

### Exigences sur les outils d'estimation

L'enjeu du projet est, avant tout, de rassembler le savoir-faire de tous les partenaires forestiers concernés par cet objectif (l'inventaire forestier national de l'IGN, les organismes de gestion et les organismes de recherche) afin de développer des modèles d'estimation « intégrés » répondant à 4 contraintes :

- compatibilité entre les grandeurs utilisées : volume, biomasse, minéralomasse et pouvoir calorifique ;
- généralité pour les différentes essences forestières tempérées, sachant que l'inventaire forestier national en recense plus de 60 ;
- robustesse quelles que soient l'origine des peuplements, leur structure, leur fertilité, leur taille ;
- cohérence quel que soit ensuite le niveau de découpe pour la tige et/ou le houppier.

L'ambition du projet est de pouvoir quantifier le bois énergie selon des procédures claires, stables, opérationnelles, à vocations multiples. Pouvoir, par exemple, estimer la biomasse de menus-bois d'une coupe, de manière cohérente et compatible avec le volume de bois d'œuvre associé, et en déduire l'impact potentiel sur la fertilité des sols suite à l'exportation d'éléments minéraux.

Il existe déjà, pour tous ces aspects ou presque, des outils, des tarifs, des facteurs de conversion, mais plus on s'écarte du cas standard (l'essence bien connue, le volume commercial le plus classique, le type de peuplement, la technique d'exploitation...), plus les données et les outils sont rares.

### Potentiel en dendrométrie

L'arrivée en métrologie des lasers a révolutionné les méthodes de mesures en travaux publics et en géomatique. De même, elle ouvre des horizons nouveaux en dendrométrie. Aussi, le projet intègre des études plus prospectives : le laser terrestre pour estimer des grandeurs 3D des arbres en condition de

terrain et le scanner tomographique à rayon X pour explorer la variabilité de densité interne des bois (*Figures ci-dessus*).

### Des résultats à différents niveaux

Les archives de données de cubage et de biomasses à différentes échelles constituent le véritable socle d'un travail de construction transversale de nouveaux outils d'estimations de volume, biomasse, minéralomasse, PCI.

Un résultat important du projet est la numérisation, la saisie, l'organisation et la vérification de ces données dans une base de données partagée entre les partenaires.

Le cœur du projet est la modélisation des volumes, de la biomasse, de la minéralomasse et du PCI par l'Inra, le FCBA et l'ONF.

Les premiers résultats sur les coefficients d'expansion et de houppiers, et sur les pourcentages d'écorce sont publiés dans un prochain numéro de Rendez-Vous techniques, les résultats sur les modèles de volumes et de biomasse-minéralomasse suivront dans un second dossier.

L'Inra a aussi exploré avec le Cirad les apports potentiels du Lidar terrestre et du scanner tomographique en recherche, tandis que l'ONF a travaillé plus spécifiquement aux apports du Lidar pour la gestion.

Au travers de ce projet, chercheurs et gestionnaires ont rassemblé les données, les questions, les approches de différentes disciplines et bâti un socle commun pour répondre à l'ambition initiale.

Quelques outils généraux construits sont utilisables dès à présent, d'autres sont à développer en fonction des besoins des gestionnaires, des chercheurs et de l'inventaire forestier national, mais le socle commun initial permettra d'assurer la cohérence entre les estimations. ■

## En savoir +

Deux dossiers « Rendez-Vous Techniques » de l'ONF présentent les résultats du projet, le n°39-40 hiver-printemps 2013.

# Le Lidar terrestre : prometteur pour l'inventaire forestier

Par Alexandre Piboule<sup>1)</sup>,  
Michael Krebs<sup>2)</sup>, Etienne Tricot<sup>3)</sup>, Aurélie Colin<sup>4)</sup>

*Le projet Emerge comporte une évaluation des apports potentiels d'une nouvelle technologie pour la réalisation des inventaires forestiers : le Lidar terrestre, piloté par le département R & D de l'ONF.*

1) Chargé de R & D au département R & D de l'ONF.

2) Ingénieur en informatique, Équipe Bois, ARTS/AMPT Cluny.

3) Stage de fin d'étude Ensam, Cluny.

4) Stage de master FAGE, Université Henri Poincaré, Nancy I/ONF.

## Le Lidar terrestre, qu'est-ce que c'est ? Pour quoi faire ?

Le lidar terrestre est un appareil électronique, qui émet à très grande vitesse des rayons lasers dans toutes les directions. À partir des échos renvoyés par les objets, cet appareil permet de reconstituer un nuage de points en trois dimensions représentant la « scène ». De 20 à 180 millions de points pour une placette de 15 à 20 m de rayon, soit une très haute résolution.

### Une technologie a priori intéressante en forêt...

La transportabilité de l'appareil, sa portée (supérieure à 100 m) et une vitesse d'acquisition très élevée permettent aisément d'utiliser cette technologie pour scanner des placettes forestières. Le sol renvoie l'écho laser, cela donne un repérage vertical pour les tiges et le diamètre de référence à 1,30 m. Le scan étant hémisphérique, des données sur l'ensemble d'une placette, y compris en hauteur, sont possibles.

### ...notamment pour les inventaires d'aménagement

Un scan terrestre capture la géométrie d'une placette forestière. L'analyse de ce nuage de points précise un certain nombre de données dendrométriques, ainsi que la position des arbres.

La plus forte plus-value de cette technologie est dans l'estimation du défilement du tronc et du volume de la tige (jusqu'à une certaine découpe). L'information sur l'évaluation de certains critères de qualité des tiges, tels que leur sinuosité, leur verticalité ou les caractéristiques de leur branchaison (Figure 1) est disponible, mais pas encore utilisable...

## Passer de points à des arbres, une étape indispensable mais difficile

Des algorithmes (chaînes de calcul) sont nécessaires, pour extraire du nuage de points en 3D, les informations recherchées. Les points de chaque arbre sont isolés, du tronc aux branches, par une succession de cylindres. Une des difficultés majeures, l'occlusion, provient du rayon laser arrêté au premier impact, créant des ombres portées masquant une portion de troncs ou de sol...

## Des logiciels utilisables pour la forêt ?

Pour analyser des placettes scannées au Lidar terrestre en inventaire, les logiciels généralistes de traitement des nuages de points ne sont pas adaptés.

Le département R & D de l'ONF (pôle de Nancy), en partenariat avec l'équipe Bois, ARTS/AMPT de Cluny, a donc initié début 2010, dans le cadre du projet Emerge, la mise un point d'un logiciel de traitement des placettes forestières, nommé Computree. La section Inventaire Forestier National de l'IGN, partenaire privilégié, partage globalement les mêmes besoins que l'ONF, quant à la variété potentielle d'applications de cette technologie.

## Des résultats encourageants pour l'inventaire forestier

En 2011, sur une gamme de peuplement assez large (110 placettes IFN dans toute la France, et 17 placettes ONF de hêtraie mélangée en Meuse), avec un unique scan central, le taux de détection moyen des arbres de plus de 7,5 cm de diamètre se situait, hors saison de végétation, entre 90 % et 95 % pour des placettes de 15 m de rayon.



Figure 2: Cas typique d'occlusion, à cause de branches situées entre le scan et l'arbre.

← Figure 1 - photo page de gauche: Un exemple de scan Lidar terrestre. Au premier plan sur la droite, on peut voir une cible de calage sur un jalon, permettant de fusionner plusieurs scans.

Le logiciel peut être utilisé avec une bonne confiance, en futaie régulière avec peu de sous-étage. Les peuplements de taillis-sous-futaie, irréguliers ou à forte présence de sous-étage nécessiteront probablement une progression de la robustesse des algorithmes.

### Combien de scans pour une placette ?

À l'issue de cette première validation, deux stratégies sont possibles pour une détection maximale des arbres. Un unique scan central sur des placettes petites – entre 10 et 12 m de rayon – présente l'avantage de la rapidité (10 à 15 minutes par placette hors déplacements). Par contre, cela suppose de mesurer un plus grand nombre de placettes pour garder une bonne représentativité des peuplements. Pour des placettes plus grandes – entre 15 et 20 m de rayon – combiner plusieurs scans par placette (en moyenne 1 h 30 par placette, avec le temps des cibles de calage) permet une fusion millimétrique des nuages de points.

### Le Lidar terrestre pour répondre à de nouveaux enjeux

Le Lidar terrestre pourra fournir à moyen terme une solution efficace pour la mesure précise et détaillée de placettes d'inventaires, avec en particulier, la possibilité d'accéder au volume des tiges et à des indicateurs de qualité.

Au-delà de la réalisation d'inventaires classiques, cette technologie laisse également entrevoir des possibilités nouvelles de description des forêts. En effet, elle permet d'obtenir une réelle description en trois dimensions de la géométrie des peuplements. Nous disposons ainsi de données à très haute résolution sur la structure des peuplements et plus généralement sur la répartition de la biomasse dans l'espace. Les applications envisagées sont la description des habitats, l'évaluation des risques d'incendies, la modélisation de l'éclairement sous couvert et ses conséquences sur le potentiel de régénération, et l'évaluation de l'état sanitaire des peuplements (en particulier à l'aide de l'évaluation de la surface foliaire: LAI).

Par sa construction ouverte et collaborative, la plateforme Computree permettra à ces nombreuses applications de se concrétiser par des outils à la fois innovants et opérationnels pour la gestion forestière. ■

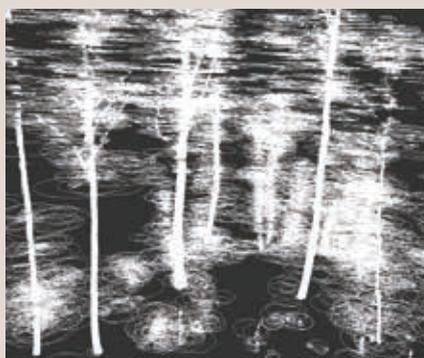
## La chaîne algorithmique utilisée dans Computree (version de juillet 2011)



Filtrage du bruit (réalisé dans le logiciel fourni avec le scanner).  
Chargement du nuage de points dans Computree.  
Extraction de la placette (15 m ici).



Détection des points du sol (en marron).  
Extraction des points de la végétation (en vert). Seuls ces points sont conservés pour la suite.



Les points sont regroupés en fonction de leur proximité, par tranches horizontales de 1 cm d'épaisseur.



La figure représente le modèle numérique de terrain (en blanc), les points végétation (en gris foncé), ainsi que les arbres détectés, en couleurs.

### Le projet Computree

#### Une plateforme modulaire et ouverte pour mutualiser les travaux des partenaires :

La plateforme permet d'utiliser la complémentarité d'algorithmes développés en parallèle dans différentes équipes, afin d'évaluer leur robustesse suivant le type de peuplement.

#### Les partenaires :

Le département R & D et l'ONF,  
Arts et Métiers ParisTech, Centre de Cluny,  
Le LERFoB (Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois d'AgroParisTech), Inra de Nancy  
Le LE2I (laboratoire d'électronique, informatique et image/Université de Bourgogne et CNRS) au Creusot.  
Le LSIS (laboratoire des sciences de l'information et des systèmes/ Université de Marseille et CNRS) à Marseille  
L'IGN (institut national de l'information géographique et forestière)  
Le département de géomatique de l'Université de Sherbrooke, Québec  
L'Université de Gembloux, en Belgique.

# Le Lidar terrestre : vers un inventaire en volume...

Par Thiéry Constant<sup>1)</sup>, Mathieu Dassot<sup>1)</sup>, Alexandre Piboule<sup>2)</sup>

*Au-delà de l'estimation automatique de la position et du diamètre à 1,30 m des arbres, la réelle plus-value de la technologie du Lidar-terrestre réside dans la nature tridimensionnelle des nuages de points acquis. La densité élevée de points permet un cubage précis d'arbre sur pied.*

1) Inra Champenoux.

2) Chargé de R & D au département R & D de l'ONF

## La maquette numérique en 3D des arbres

### Comment scanner entièrement un arbre ?

Pour avoir l'estimation la plus précise possible de la géométrie de l'arbre et donc de son volume, trois scans bien répartis sont réalisés de façon à numériser toutes les faces de la tige, puis les différents nuages de points sont fusionnés (Figure 1).

### Un arbre comme un squelette composé de cylindres

La reconstitution en 3D de la géométrie ou squelette représente un arbre comme une succession de cylindres insérés les uns au bout des autres. Une série de segments attachés les uns aux autres est réalisée pour le tronc, puis pour chaque branche jusqu'à une découpe d'environ 7 cm. La figure 2 montre un exemple de maquette ainsi reconstituée. Le volume est calculé par une formule de tronc de cône délimité par les diamètres médians des cylindres successifs, et cumulé en fonction de la découpe. L'approche par cylindres semble globalement fournir une bonne approximation du volume.

### Le cubage au Lidar terrestre : une méthode fiable et précise

La maquette géométrique obtenue est d'une grande précision, suite à une comparaison avec le volume réel de quelques arbres.

### Un volume total bien estimé

Pour des volumes mesurés allant de 0,18 (robinier) à 11,8 m<sup>3</sup> (chêne sessile), l'écart moyen entre la mesure numérique et la mesure manuelle destructive de référence est inférieur à 10 %. Une comparaison plus détaillée de la longueur cumulée des axes, du volume tige ou du volume des branches donne des précisions similaires.

Cette approche, efficace jusqu'à une découpe d'environ 7 cm, est peu adaptée à l'estimation des menus bois (découpes inférieures à 7 cm), étant donné la finesse des éléments au regard de la résolution de scan.

### Une meilleure précision sur la grume

La méthode manuelle d'estimation procède par billons plus longs que ceux obtenus par la méthode numérique. La méthode numérique mesure des billons très courts, décrivant très finement la forme des tiges, alors que la mesure de terrain doit trouver un compromis raisonnable entre longueur des billons et temps de mesure. Pour les 6 premiers mètres de chaque tige, la comparaison des volumes estimés par la méthode T-Lidar par cylindres donne de meilleurs résultats que la méthode manuelle ou destructive.

Cela s'explique par le fait que sur le terrain, le premier billon fait 2 m de long (les suivants étant plus courts pour s'adapter à la forme de la tige). Or cette partie du tronc est la plus irrégulière, du fait de l'empatement. L'approximation sur 2 m ne capte donc pas très bien les irrégularités de la base du tronc. Cela dit, la partie du volume située dans ces irrégularités n'étant pas valorisable (au sens de la grume), il pourrait être souhaitable de corriger l'estimation numérique, pour se rapprocher d'un volume réellement commercialisable.

### Un volume à différentes coupes

Une autre façon de comparer les résultats entre méthode par cylindres et méthode destructive, consiste à tracer le profil vertical de volume total cumulé en fonction de la découpe pour ces deux approches. Une analyse plus fine de ces profils cumulés montre que les plus gros écarts apparaissent sur la partie basse du tronc, et de façon d'autant plus marquée que la tige a un diamètre important. Ces éléments semblent concorder avec notre interprétation précédente sur la relative imprécision de la méthode destructive pour le bas de l'arbre.

Figure 1 - Positionnement typique des différentes positions de scans et des sphères de calage par rapport à l'arbre mesuré

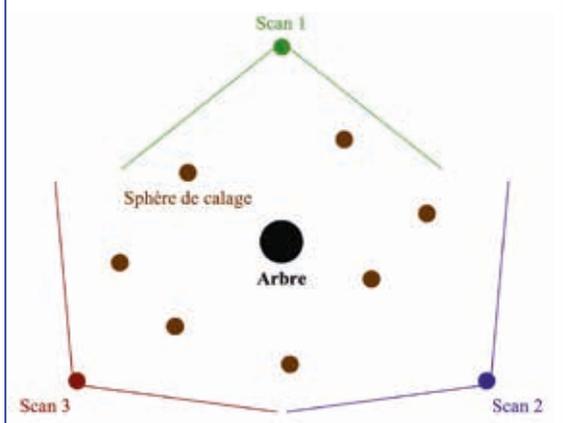


Figure 2 - Méthode de reconstitution de la maquette 3D de l'arbre :



## Rapport coût/qualité et perspectives opérationnelles

Outre que cette méthode présente l'avantage majeur de ne pas être destructive, un critère important pour juger de son intérêt est aussi le temps gagné. La mesure de référence destructive nécessite de 1 à 5 hommes jour et par arbre selon sa taille. En correspondance, la méthode par cylindres, encore très manuelle à ce stade, nécessite 1 h de scan à deux personnes sur le terrain, puis un temps d'opérateur de 30 minutes à 4 h selon la taille de l'arbre pour le traitement informatique.

Le gain de temps est donc déjà très sensible. En outre, la méthode numérique, à partir des scans T-Lidar, nécessite moins de logistique sur le terrain et surtout n'est pas destructive. Enfin elle semble fournir une description plus fine pour la base de l'arbre et une maquette en trois dimensions de la géométrie de l'arbre, ce que ne donne pas la méthode destructive.

Un objectif est désormais d'automatiser cette méthode au maximum, pour la rendre encore plus efficace en temps, et de l'intégrer dans la plateforme Computree pour cuber les arbres scannés sur les placettes d'inventaires. Cela nécessitera de vérifier que cette approche puisse fonctionner en ne disposant que d'une vue partielle de chaque arbre.

Concernant le scanner laser en lui-même, il faut signaler une évolution rapide des matériels et de leur coût. Le scanner utilisé pour ces travaux, le FARO Photon 120, a été acquis en 2008 par le Lerfob à l'aide du financement du projet Emerge et du fonds Feder Lorraine 2007-2013; il pesait 15 kg et coûtait environ 105 K€. En 2011, la même société proposait un modèle plus compact (5 kg) – le FARO Focus 3D 120 – au prix nettement inférieur de 50 K€.

## Vers des applications à la qualité des tiges

Au-delà de l'application à l'estimation de volume, la maquette 3D obtenue contient une grande richesse d'informations, qui peuvent être utilisées pour donner des indicateurs de la qualité des tiges.

La maquette mesure, de façon très précise, les courbures et l'inclinaison de la bille de pied, également les critères de rectitude, paramètre important pour la qualité commerciale des tiges.

Elle donne aussi une répartition détaillée de l'architecture de l'arbre. À partir de la position en trois dimensions des branches et des approches bio-mécaniques, des informations sur la qualité interne du bois sont possibles de façon non destructive. Ces travaux très prometteurs permettront d'apprécier des critères de qualité commerciale des tiges<sup>7</sup>. ■

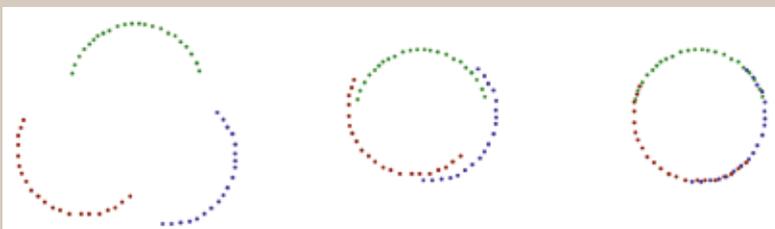
à gauche le nuage de points, au centre le squelette composé de segments linéaires, à droite la reconstitution par cylindres.

<sup>7</sup> Dassot M., 2013. *Relations entre morphologie, croissance, bois de réaction et contraintes de maturation*: apport de la technologie LiDAR terrestre pour répondre à des questions écologiques et sylvicoles. Thèse de doctorat. AgroparisTech/Inra.

## La fusion de scans multiples

Pour obtenir la forme fidèle des troncs, trois points de vue doivent être combinés avec une grande précision, de l'ordre du millimètre.

Une fois les scans réalisés, le logiciel ajuste pour chacune une sphère numérique permettant une estimation très précise de son centre. Ensuite la géométrie de positionnement des sphères dans l'espace permet de positionner les scans relativement entre eux et de les fusionner automatiquement avec grande précision. Le schéma ci-dessous illustre l'intérêt d'une fusion précise des nuages. Les points obtenus pour une section d'arbre, issus de trois points de vue sont représentés en rouge, vert et bleu. À gauche les points de vue non fusionnés. Au centre une fusion approximative génère une section chaotique, difficilement utilisable. À droite une section finement fusionnée permettra une reconstitution et des estimations précises.



# Bois bûches : pratiques de découpe et de chantiers

Par Alice Gauthier, CNPF-IDF

Le programme **Emerge** comprend une enquête sur les chantiers de bois de chauffage en forêt privée, confiée au CNPF. Dans trois régions (Centre, Pays de la Loire, Limousin), entre 2009-2010, 55 chantiers sont étudiés, soit un volume d'environ 14 000 stères. Ces résultats, non exhaustifs, sont à prendre avec les précautions d'usage. Néanmoins, le nombre de chantiers mesurés donne une bonne image des habitudes contractées.

## Pratiques sur les chantiers de bois de chauffage

Les propriétaires, présents lors de la mesure des chantiers, expliquent leur pratique en matière de bois de chauffage. (31 questionnaires sur les 55 chantiers visités).

### Typologie des propriétés visitées

La plupart des chantiers visités appartiennent à des propriétés de grande taille, vendant un volume important de bois de chauffage. La visite de chantiers, issus de petites propriétés, complète l'enquête, afin de refléter davantage la réalité de la propriété forestière privée.

Sur ces chantiers, 29 % sont exploités par des professionnels forestiers, 6 % par des coopératives forestières et 65 % par les propriétaires forestiers ou leurs salariés.

57 % des propriétés visitées disposent d'une fendeuse mécanisée comme matériel propre.

Les chantiers sont souvent effectués en plusieurs fois, ce qui augmente leur durée moyenne. Ainsi, 62 % des chantiers ont duré plus de 2 mois.

Dans plus du tiers des chantiers, le bois exploité est stocké plus de 6 mois en forêt.

Seulement un quart des chantiers utilise les rémanents, c'est-à-dire les déchets de bois qui restent une fois les bûches façonnées. Lorsqu'ils sont utilisés, c'est principalement sous forme de charbonnette (57 %), mais l'on constate aussi l'émergence de la plaquette forestière dans 29 % des chantiers valorisant les rémanents.

Lorsque les rémanents ne sont pas utilisés (les ¾ des chantiers), ils sont majoritairement laissés sur place (70 %). Mais la pratique du brûlage perdure encore dans 13 % des cas.

## Pratiques de découpes de bois

Sur les 55 chantiers visités, 69 % des chantiers effectuent les découpes directement en 1 m, 24 % en 2 m et 7 % en 50 cm (essentiellement pour des particuliers).

Pour cette analyse, un coefficient pour les bûches fendues est réattribué afin de retrouver les ratios de prélèvement par classes de diamètre avant fendaison, pour les chantiers en 1 m.

Sur les chantiers de découpe en 1 m, on constate que la part de bûches, issues d'une classe de 0 à 7 cm, est de 25 %. L'idée préconçue que, les bois de classe de diamètre inférieure à 7 cm sont laissés en forêt, est donc erronée. En analysant les données, la classe

Figure 1 - Taille des propriétés visitées

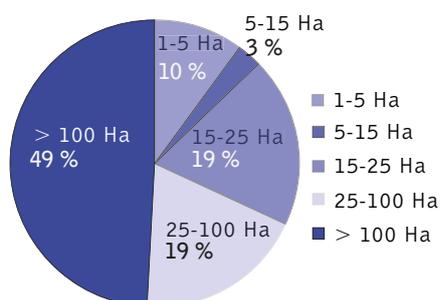


Figure 2 - Production de bois bûche en nombre de stères par an

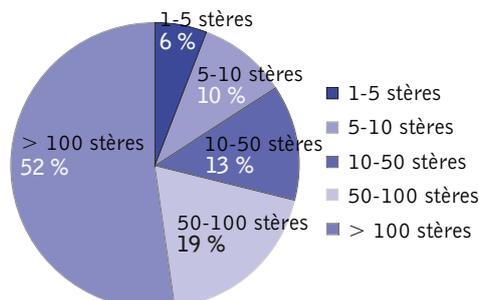


Figure 3 - Proportion par essences en produit fini (2 m exclu, sans ratio)

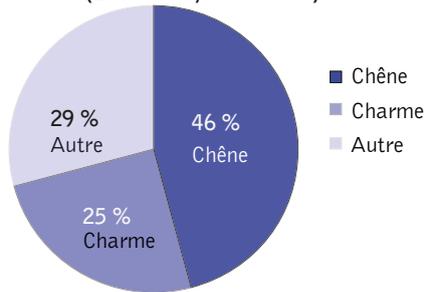
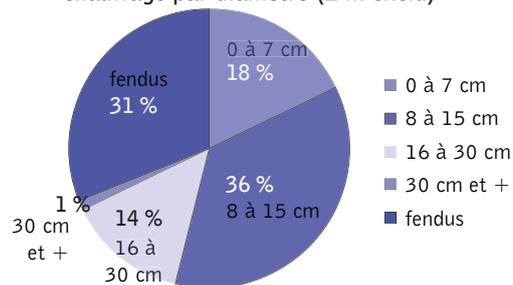


Figure 4 - Composition d'un tas de bois de chauffage par diamètre (2 m exclu)



0 à 4,5 cm n'est pas prélevée, par contre les bois de 5 à 7 cm sont abondants. Pour avoir une approche plus fine, il faudrait transcrire les données en volume ; le prélèvement en bois de faible diamètre serait ainsi à une plus juste mesure. Ce pourcentage de volume issu des faibles diamètres est à comparer à ceux observés grâce à la compartimentation des arbres, cela donnerait l'importance des prélèvements des arbres de faibles diamètres. Sans surprise, les bûches de charmes se répartissent dans les plus petites classes de diamètres.

## Produit fini

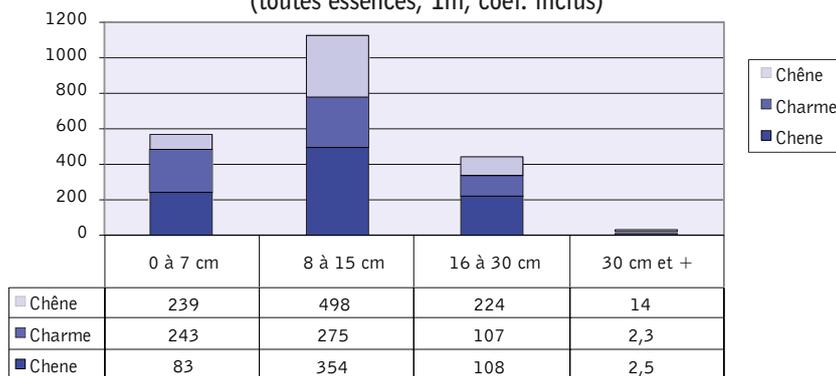
Le produit fini se comprend en bûches en 0,5 et 1 m, en attribuant un coefficient de 1 par bûche, y compris les bûches fendues. (Les bûches en 2 m ne constituent pas un « produit fini » et ne sont pas fendues.) (Figure 3).

Un tas de bois de feu vendu comporte en majorité des bûches de chêne, puis d'essences diverses et enfin de charme.

Un tiers des bûches composant le tas de bois vendu au client apparaît comme fendu et un autre tiers des bûches fait entre 8 et 15 cm. Les chantiers réalisés par des professionnels ont un plus faible pourcentage de bois de faible diamètre (Figure 4).



Tableau 1 - Répartition par classes de diamètres (toutes essences, 1m, coef. inclus)



## En conclusion

Cette enquête, réalisée principalement dans des propriétés de taille importante, montre qu'une large part du bois de chauffage est encore réalisée directement par les propriétaires. Des pratiques comme le brûlage, en nette diminution, n'ont néanmoins pas totalement disparu.

Ce premier état des lieux présente un double intérêt.

D'une part, connaître le prélèvement des bois de faible diamètre : en effet, ces bois ont un faible intérêt énergétique à cause d'un taux d'écorce important. Par contre ils sont essentiels en matière de minéralomasse, il convient de limiter leur prélèvement. Une comparaison des données de l'enquête avec celles de la base Emerge permettra ultérieurement de différencier les pourcentages de prélèvement par rapport à l'architecture réelle de l'arbre en volume. Des enquêtes ultérieures permettront également de mesurer si la demande sur ces bois a tendance ou non à augmenter.

D'autre part, il mesure les pratiques sur les chantiers, en particulier l'émergence d'un broyage des rémanents sous forme de plaquettes forestières. ■

# Coopération franco-suisse pour le suivi du cerf sur le massif du Jura

Par Jérôme Bombois, FDC 39  
Sandra Péroux, CRPF Franche-Comté

Depuis 2006, grâce à deux programmes Interreg<sup>+</sup> successifs, les acteurs des mondes cynégétique et forestier travaillent ensemble pour mieux appréhender le développement des populations de cerfs dans cette zone de moyenne montagne, berceau de la futaie jardinée.

Le fond Interreg est financé par le FEDER à hauteur de 7,75 milliards d'euros. Il vise à promouvoir la coopération entre les régions européennes et le développement de solutions communes dans les domaines du développement urbain, rural et côtier, du développement économique et de la gestion de l'environnement.

Le périmètre d'étude couvre environ 450 000 ha de forêts répartis sur 3 départements (Ain, Doubs, Jura) et 7 cantons (de Genève à Bâle campagne). L'implantation du cerf remonte aux années 50, avec des lâchers dans la région de la Versoix, petit territoire à cheval sur l'Ain, les cantons de Vaud et de Genève. Après une période d'installation relativement longue, ces populations sont depuis une dizaine d'années dans une phase de croissance dynamique, qui entraîne une colonisation progressive du massif jurassien.

Animal emblématique pour le chasseur, mais source d'inquiétude pour le forestier, les acteurs franco-suisse ont uni leurs moyens en travaillant sur 2 programmes (2006-2008 et 2011-2013) avec comme objectifs :

- la création d'un réseau franco-suisse de coopération,
- le suivi de la colonisation et du développement des populations,
- l'anticipation des difficultés générées par l'expansion de l'espèce dans des milieux forestiers,
- la mise en place de politiques de gestion coordonnées à l'échelle des territoires.

## Observatoire

La mise en place d'un observatoire à l'échelle de la zone d'étude recueille des informations sur la dispersion et l'installation de cette espèce grâce à des fiches signalant les indices de présence hors des noyaux constitués.

## Suivi de l'évolution des indicateurs de changement écologique

Un suivi coordonné a été entrepris en vue d'analyser les évolutions d'un panel d'indicateurs au niveau de 5 populations implantées sur la zone d'étude :

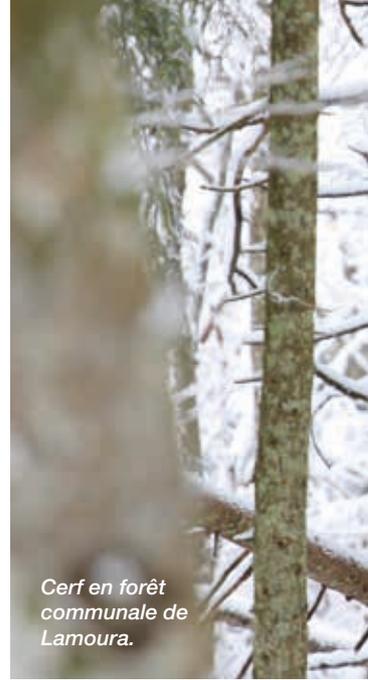
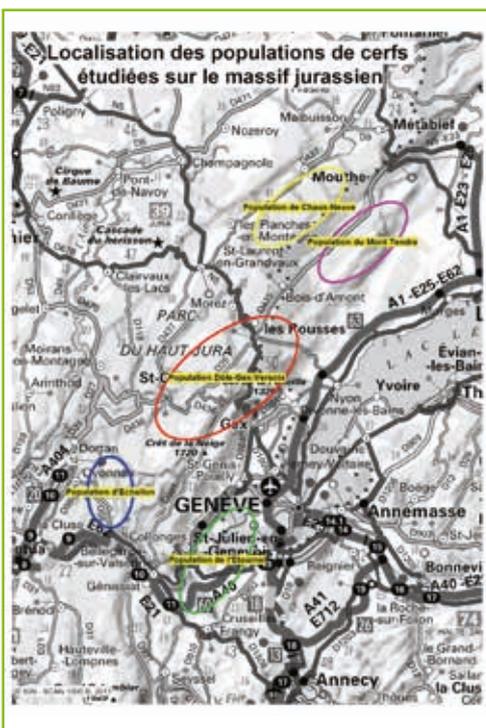
- Massif de la Dôle - Gex - Versoix où l'implantation est la plus ancienne (Ain, Jura, cantons de Vaud et de Genève). Cette population est vraisemblablement la source d'autres noyaux implantés dans la zone d'étude ;
- Massif de l'Étournal (Ain, Haute-Savoie) ;
- Massif du Mont Tendre (canton de Vaud) ;
- Massif de Chau-Neuve (Doubs) ;
- Massif d'Echallon (Ain).

Les indicateurs suivis sont :

- les comptages aux phares selon le protocole ONCFS, réalisés à 4 reprises en mars-avril, aux mêmes dates sur l'ensemble de la zone d'étude, aujourd'hui 10 circuits sont parcourus pour une longueur de 500 km ;
- l'analyse du plan de chasse (vitesse, taux de réalisation) ;
- le suivi biométrique des animaux prélevés avec mesure de la longueur des bois pour les daguets (au cm près) et pesée des animaux éviscérés par catégorie (à 200 g près) ;
- la mesure de l'impact du cerf sur la végétation forestière à l'échelle du massif. Concernant cette donnée, les forestiers se sont heurtés à l'absence de méthode d'analyse des dégâts validée scientifiquement dans les peuplements irréguliers.

## Zoom sur les mesures d'impact des ongulés sur la végétation

Le protocole, élaboré lors du 1<sup>er</sup> programme, demandait beaucoup de temps et ne répondait pas totalement aux questions sur la suffisance de semis, perches et petit bois par rapport au renouvellement en futaie jardinée. Il est donc simplifié et prend aussi en compte des



Cerf en forêt communale de Lamoura.



© C. Fontana

## En savoir +

Pour plus d'informations, consulter le site : [www.cerf-jurassien.fr](http://www.cerf-jurassien.fr)  
relations forêt cervidés : [www.foretpriveefrancaise.com/gibier/](http://www.foretpriveefrancaise.com/gibier/)

données de l'arrêté préfectoral du 28/07/2009, qui fixe le seuil en deçà duquel l'avenir d'un peuplement forestier est considéré comme compromis.

Ce protocole (non validé par l'Inrstea) se base sur la réalisation d'environ 200 placettes par massif soit 1 placette pour 20 à 25 ha de forêt. Normalement réalisées avant le débourrement de la végétation, la prise de données a dû être repoussée en dehors de la période de sensibilité du Grand Tétras dans certaines zones.

Sur chaque placette, 3 types de relevés sont effectués : mesure des stocks de régénération, surface terrière, indice de consommation (IC). L'IC est noté sur une placette de 1 m<sup>2</sup> au sol mais sur une hauteur de 1,80 m et non 1,20 m pour intégrer l'abrutissement du cerf, même si les hauteurs de neige, localement importantes, peuvent moduler ce facteur. À noter aussi que, sur beaucoup de zones, chamois, chevreuil et cerf cohabitent (voir Progression des ongulés, Forêt-entreprise n° 210).

Concernant le renouvellement, seules les essences de production sont dénombrées (épicéa, sapin, hêtre et érable sycomore en fonction du contexte altitudinal) et 3 catégories sont distinguées :

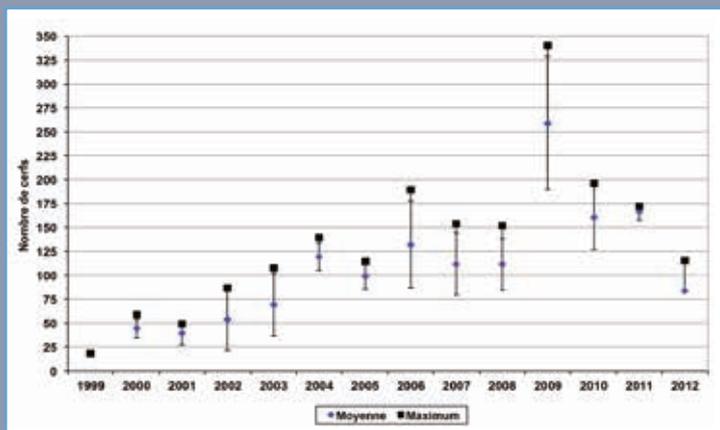
- 30 cm ≤ régénération basse < H = 3 m
- 3 m ≤ régénération haute < ø = 7,5 cm
- ø = 7,5 cm ≤ perches < ø = 27,5 cm.  
et petits bois

Chaque tige est classée dans une des catégories pré-définies : viable, non viable cause ongulés (abrutissement, frottis ou écorçage), non viable pour une autre cause que les ongulés.

## Les partenaires du programme



## Quelques données sur le massif de la Dôle - Gex - Versoix Évolution des comptages aux phares



## Impact sur la végétation forestière

Entre 2008 et 2012, l'IC montre une fréquence de consommation plus importante pour les érables, sorbier, sapin et hêtre.

Concernant la régénération forestière en futaie irrégulière, entre 2008 et 2012 :

- le taux de semis (H < 3 m) non viable à cause des ongulés (abrutissement-frottis) pour le sapin est passé de 32 % (I<sub>95%</sub> = 24-40 %) à 45 % (I<sub>95%</sub> = 35-62 %), pour l'érable sycomore de 48 % (I<sub>95%</sub> = 39-56 %) à 81 % (I<sub>95%</sub> = 62 - 100 %)
- pour l'épicéa le taux de tige d'épicéa non viable à cause du cerf (frottis - écorçage) pour la plage comprise entre 3 m de haut et 27,5 cm de diamètre est stable à 2,5 % (I<sub>95%</sub> = 2,2 - 2,9 %).

(Analyse des données : V. BENARD, ONF)

## Évolution des plans de chasse

L'augmentation importante du plan de chasse a permis de diminuer la population.



+ Technique

RELATION FORÊT-GIBIER

## Analyse de l'occupation spatiale et de son fonctionnement

Lors du 1<sup>er</sup> programme, le potentiel de colonisation du cerf a été modélisé côté français, suite à un travail de thèse (P. Patthey) réalisé côté Suisse grâce à un modèle statistique et empirique (Analyse factorielle de niche écologique). Cette modélisation a permis d'établir des cartes d'habitats hivernaux et estivaux favorables, et ainsi de prédire les futures zones d'installation de l'espèce.

Le 2<sup>e</sup> programme complétera cette approche par une meilleure connaissance des déplacements saisonniers, de l'occupation spatiale du territoire et, des mécanismes de colonisation. Elle se fera grâce à la pose de 28 colliers GPS, actuellement 15 animaux sont équipés.

## Aménagements pour réduire l'impact sur le renouvellement forestier en futaie irrégulière

Le 2<sup>e</sup> programme comporte un volet de test d'aménagements du milieu destinés à limiter l'impact de cette espèce sur la régénération. Au préalable, une recherche de bibliographie est réalisée sur la littérature européenne, mais elle s'est révélée infructueuse: autant des méthodes existent et sont vulgarisées dans les systèmes réguliers, autant les forestiers sont démunis dans les peuplements irréguliers.

Ils s'orientent aujourd'hui vers des méthodes utilisées en traitement régulier avec test de travaux sylvicoles spécifiques pour la régénération et de protections individuelles pour les perches et petits bois d'avenir. La difficulté prévisible est liée à la dissémination des cônes de régénération à l'échelle de la forêt.

En complément, les fédérations départementales des chasseurs expérimentent la plantation d'arbres fruitiers susceptibles d'apporter un complément d'alimentation.

## Formation, information et communication

Auprès des chasseurs et des forestiers, l'objectif est de les informer sur les actions menées. Et surtout, que chacune des parties puisse acquérir les connaissances de base sur la sylviculture, la chasse et l'espèce afin de mieux comprendre les attentes et les inquiétudes respectives liées au développement de l'espèce. Au niveau du grand public et des scolaires, il s'agit d'une découverte de l'espèce grâce à une exposition itinérante pédagogique et ludique.

Ces deux programmes Interreg et leurs moyens financiers importants ont permis de poser les bases d'une coopération à une large échelle territoriale dans un schéma de décision cynégétique très départementalisé côté français. Et, au fur et à mesure, les positionnements de chacun des acteurs ont évolué.

D'une part, les forestiers ont été amenés à évaluer la sensibilité de leurs forêts, se sont beaucoup impliqués dans la réflexion sur le renouvellement des schémas départementaux de gestion cynégétique (SDGC) et appréhendent mieux les problèmes de réalisation des plans de chasse.

D'autre part, les chasseurs comprennent des difficultés liées à la sylviculture dans les peuplements irréguliers et au pas de temps important inhérent à la forêt. Ils œuvrent pour la réalisation des plans de chasse au plus proche des attributions, en adaptant les pratiques et les modalités de chasse à cette espèce nouvelle pour la majorité des détenteurs.

Pour tous, ces actions, qui n'auraient jamais vu le jour autrement, permettent ainsi de négocier la gestion de l'espèce sur la base de données chiffrées consolidées et partagées pour les différentes populations.

Ces éléments constituent la base des discussions mais ils ne résolvent pas tous les problèmes, et l'anticipation n'est pas totalement synonyme de convergence des points de vue. Forestiers et chasseurs, même s'ils s'entendent sur la nécessité d'une gestion concertée, ont encore des désaccords, en particulier sur les niveaux de populations compatibles avec les enjeux forestiers importants du massif jurassien et sur l'extension de l'aire de distribution de l'espèce. À l'heure où les gestions en futaies irrégulières se généralisent en Franche-Comté, il reste donc encore un travail important à mener pour tendre vers cet équilibre sylvo-cynégétique. ■

### Résumé

La colonisation du massif jurassien, berceau de la futaie jardinée, par le cerf élaphe mobilise depuis 2006 les acteurs franco-suisse du monde forestier et de la chasse autour de cette problématique grâce au financement de 2 programmes Interreg. Leurs objectifs sont d'évaluer l'évolution des populations et son impact sur le milieu, d'appréhender le potentiel de colonisation et les mécanismes de celle-ci, de travailler sur des gestions concertées des différents noyaux...

**Mots-clés :** massif jurassien, cerf élaphe, colonisation, futaie jardinée, suivi des populations.

### Bibliographie

- Patthey P., 2003. *Habitat and corridor selection of an expanding red deer (Cervus elaphus) population*-Thèse de doctorat. 152 p.
- Collectif, 2008. *Suivi de la colonisation naturelle du cerf sur le massif jurassien*. 173 p. + annexes.
- Collectif 2012. *Interreg Cerf IVA – Observatoire: Le cerf sur le massif jurassien – Compte-rendu d'activité annuel*. 20 p.

## Du 8 au 10 juillet

### « Forêts et foresterie: savoirs et motivations »

À Mons en Belgique, le 50<sup>e</sup> Colloque de l'Association de science régionale de langue française (ASRDLF) sera consacré au thème « Forêts et foresterie: savoirs et motivations ». Plus d'informations sur le site:

[www.asrdlf2013.org](http://www.asrdlf2013.org)

## 30 et 31 juillet

### Foire agricole et forestière de Libramont

En Belgique, la foire de Libramont se déroule en forêt de Paliseul. Plus de 150 exposants présentent les services, travaux et matériels forestiers nécessaires à la gestion des forêts, sur un parcours forestier.

Plus d'informations sur le site:

[www.foiredelibramont.be](http://www.foiredelibramont.be)

### Arbofolia

L'arboretum national des Barres à Nogent sur Vernisson (Loiret) organise de nombreux événements et animations durant l'été 2013.

Plus d'informations sur le site:

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

## 29 août

### 9<sup>e</sup> Université d'été de la Forêt de Bourgogne

Dans la Nièvre, l'Université d'été de la Forêt de Bourgogne est organisée par l'Association bourguignonne de certification forestière et les Forestiers privés de Bourgogne. Le thème « Le changement climatique et l'adaptation des forêts » interroge beaucoup les propriétaires forestiers.

Contact: 03 80 40 34 50 – courriel: [foretprivee.bourgogne@gmail.com](mailto:foretprivee.bourgogne@gmail.com)

## 27 et 28 septembre

### Journées nationales InterCetef

Le prochain Intercetef national aura lieu les 26 et 27 septembre 2013 en région Rhône-Alpes (Thonon-les-Bains) sur le thème de la « Valorisation des services rendus par la forêt privée à la société ».

Au programme:

- Fixation du carbone: tests de sylvicultures dédiées,
- Production de champignons: tests de sylvicultures dédiées (projet Amycoforest),
- Production d'eau potable: engagement des sylviculteurs dans le cadre de l'ASL des Moises, bonnes pratiques forestières à l'échelle du bassin versant, Visite de l'impluvium des Moises, sur les hauteurs du Lac Léman,
- En soirée, visite du village médiéval d'Yvoire.

Contact: Alain Colinot, CNPF, tél.: 02 38 71 90 62

ou courriel: [alain.colinot@cnpf.fr](mailto:alain.colinot@cnpf.fr)

ou Mireille Schaeffer, CRPF Rhône-Alpes, tél.: 04.50.81.78.27

ou courriel: [mireille.schaeffer@crpf.fr](mailto:mireille.schaeffer@crpf.fr)

## HOMMAGE à Jean Guittet

Le 23 Avril dernier, Jean GUITTET nous quittait. Si peu de lecteurs de Forêt-entreprise l'ont connu, ils sont plus nombreux à l'avoir lu. En effet, on peut dire qu'il a été le père du premier livre sur le châtaignier, publié par l'IDF.

Enseignant et chercheur au laboratoire d'écologie végétale de l'université d'Orsay, il a beaucoup œuvré pour le châtaignier, essence très présente sur le campus. Par exemple, c'est à l'une de ses étudiantes que l'on doit le premier tarif de cubage spécifique de cette essence et bien d'autres études encore, pour lesquelles il n'a pas hésité à se rapprocher des forestiers privés et publics.

Une fois retraité, il était très sollicité pour ses très grandes compétences en écologie végétale, sa passion première. À ce titre, il a participé au comité de pilotage du catalogue des stations forestières du pays des Yvelines et du Hurepoix; il répondait volontiers aux demandes d'avis, en effet, ils étaient toujours éclairés, frappés du bon sens.

À ses compétences professionnelles s'ajoutaient de très grandes qualités humaines, qui en faisaient un contact professionnel particulièrement sympathique et abordable, de ceux qui marquent dans une vie professionnelle. Très pédagogue, il savait se mettre à la portée de son auditoire depuis les jeunes scolaires, à qui il communiquait sa passion et son respect de la nature dans toutes ses composantes, jusqu'aux professionnels de terrain en passant par les chercheurs.

Avec son départ, l'écologie, la vraie, perd un chercheur et pédagogue, un grand Monsieur, qui a fait l'admiration de ses interlocuteurs. Il laisse une empreinte vivante avec la réalisation de la ferme "La Lendemain", qui lui a tenu à cœur jusqu'à la fin.

Les forestiers privés, qui ont eu beaucoup de chance de le rencontrer, de le connaître et de travailler avec lui, s'associent à la peine de sa famille et lui adressent leurs sincères condoléances.

**Antoine de Lauriston avec le concours de Catherine Bourgeois, François Quagheaux, Eric Sevrin.**



© D.R.

## Nouveauté des Éditions de l'Institut pour le développement forestier

### Au jardin des plantes de la Bible Botanique, symboles et usages

Cet ouvrage rend hommage aux plantes, en explique la valeur « agronomique » ou artisanale, et révèle leur symbole par des citations bibliques. Classée par type, chaque plante bénéficie d'une iconographie exceptionnelle et des conseils d'utilisation ou de culture.

416 pages illustrées en couleurs, papier satiné, excellent rendu photographique, couverture rigide, format 21 x 24 cm, 49 € + frais de port

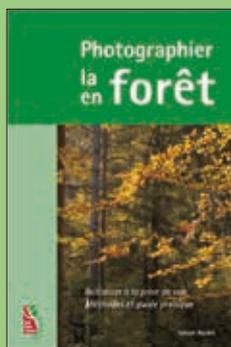


### Photographier la forêt, photographier en forêt

Initiation à la prise de vue, méthode et guide pratique par Sylvain Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne

Photographier en forêt nécessite une approche photographique particulière et adaptée pour de bons résultats. Cet ouvrage vous initie à la prise de vue en forêt, avec un rappel des fondamentaux de la photographie et du matériel. Sont détaillés les règles de composition, les paramètres techniques, les précautions à prendre, les astuces à utiliser.

272 pages illustrées de photographies magnifiques, format 16 x 24 cm, 29



### Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt

Comprendre l'Indice de Biodiversité Potentielle

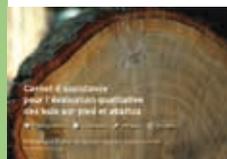
Les dix éléments clés pour la diversité des espèces en forêt constituent l'Indice de Biodiversité Potentielle, présentés dans une synthèse de 56 pages, illustrée de nombreux graphiques. Chaque chapitre du document présente l'influence d'un facteur sur la diversité des espèces, l'intérêt pour le sylviculteur de le prendre en compte dans sa gestion courante et des conseils pratiques pour l'y intégrer. Ce document s'adresse tout particulièrement aux personnels techniques, conseillers et gestionnaires forestiers.

Visualisable en ligne à l'adresse [www.foretriveefrancaise.com/ibp](http://www.foretriveefrancaise.com/ibp)



Commande à l'IDF, 47 rue de Chaillot, 75116 Paris, Tél: 01 47 20 68 39, [idf-librairie@cnpf.fr](mailto:idf-librairie@cnpf.fr)

ou par le site: [www.foretriveefrancaise.com](http://www.foretriveefrancaise.com)



### Carnet d'assistance pour l'évaluation des bois sur pied et abattus

Un guide pratique de terrain pour l'estimation de la qualité des bois décline en chapitres: classement qualitatif des défauts et singularités des bois sur pied et abattus, synthèse des défauts normés par essences, ou un classement dimensionnel.

Édition Forêt wallonne et Coforko, site: [www.foretwallonne.be](http://www.foretwallonne.be)

### L'index phytosanitaire ACTA 2013, 49<sup>e</sup> édition

L'index phytosanitaire ACTA reprend les grands principes de la protection des plantes et présente la totalité des substances actives homologuées et commercialisées en France: la référence en matière de connaissance et d'utilisation des produits phytopharmaceutiques.

984 pages, format 15,5 x 24 cm, 40 euros TTC + 7 € frais d'envoi.

### Tractoguide 2013

Cet ouvrage présente les tracteurs de 2 à 4 roues motrices, les moissonneuses-batteuses et autres engins agricoles disponibles actuellement en France.

640 pages, format 15 x 21 cm, 51 € + 8 € frais d'envoi.

ACTA, BP 90006, 59718 Lille cedex 9 ou sur le site: [www.acta.asso.fr](http://www.acta.asso.fr)

### Produisons bois, bois locaux, bois régionaux, bois français

Un film, produit par France Bois Forêt l'interprofession nationale, présente une vision de l'offre française de bois. Les capacités de réponses globales et probantes des industries aux besoins du marché de la construction sont illustrées par des expériences originales en bois locaux et bois régionaux, donc en bois français.

DVD durée 24 mm

### Les entrepreneurs de travaux forestiers

Un DVD pour découvrir les métiers des entreprises de travaux forestiers qui réalisent des travaux en forêt (abattage, débardage, reboisement, entretien...) pour assurer le bon renouvellement des peuplements selon un cahier des charges respectueux de la gestion durable des forêts.

Pour toute demande de ces DVD, merci de vous adresser à: [fbfmi-chele.fillon@franceboisforet.fr](mailto:fbfmi-chele.fillon@franceboisforet.fr) ou sur le site: [www.franceboisforet.fr](http://www.franceboisforet.fr)

### Les « faiseurs » de forêts, regards sur la forêt privée française

Une vingtaine de portraits de forestiers passionnés, représentatifs des grands massifs forestiers et leurs essences, gestionnaires prudents ou inventifs, producteurs exigeants et sylviculteurs de terrain, tels sont les « héros » des « Faiseurs de Forêt » de Pascal Charoy. L'ouvrage est soutenu par France Bois Forêt et Forestiers Privés de France.

Ouvrage broché, format 170 x 240, 160 pages en quadrichromie, 100 illustrations, 24 euros. Éditions Confluences, 13 rue de la Devise, BP 21, 33036 Bordeaux cedex.

### Bois d'ici

Un guide du bois local et des scieries bretonnes

Abibois (interprofession bois bretonne) édite un guide sur les bois locaux pour aider les professionnels de la filière et les collectivités à mieux connaître les essences bretonnes, leurs caractéristiques et leurs usages en construction, les scieries qui les transforment.

Le guide « bois d'ici transformé par les scieurs bretons » est disponible sur demande auprès d'Abibois, également téléchargeable sur le site d'Abibois: [www.abibois.com](http://www.abibois.com)



### Les plantes et leurs noms, histoires insolites

Nul besoin d'être botaniste ou spécialiste pour apprécier l'étymologie des noms de plantes. Cet ouvrage dévoile l'origine des noms communs et botaniques des plantes les plus courantes de nos régions: plantes sauvages, légumes, condiments, fruits, plantes ornementales...

Éditions Quae, format 14 x 24,5 cm, 36 € site: [www.quae.com](http://www.quae.com)