

9,50 €

n° 242

Sept.-Octobre
2018

FORÊT

entreprise

La revue technique des forestiers

Dossier :

Sols forestiers, intégrer les dynamiques

Normandie
Analyse des PSG

Bioclimsol
châtaignier

Ripisylve
Hauts de France


CNPF
Institut pour le
Développement Forestier

CALENDRIER DES VENTES GROUPÉES organisées par Experts forestiers de France



Cahier de vente téléchargeable un mois avant la vente sur : www.foret-bois.com

VENTES D'AUTOMNE 2018

Région	Lieu de la Vente	Dép.	Date	Heure	Expert coordonnateur	Description de la vente
Nouvelle - Aquitaine	Labouheyre	40	11/10/2018	9 h 30	G. Duclos	Résineux
	Poitiers - Montamisé	86	14/11/2018	14 h 00	J.-F. de La Motte	Feuillus et Résineux
	Ussel	19	29/11/2018	9 h 30	S. Coudert	Résineux
Auvergne - Rhône - Alpes	Propières	69	14/09/2018	9 h 00	J.-P. Leroy	Résineux et feuillus
	Riom	63	26/10/2018	14 h 00	P. Fargevieille	Résineux et feuillus
Bourgogne Franche-Comté	Binges	21	12/09/2018	15 h 00	T. Susse	Feuillus
	Simandre	71	25/09/2018	9 h 30	F. Bachelet	Chênes
	Aillant sur Tholon	89	15/10/2018	14 h 30	S. Chaton	Chênes
	Dijon	21	16/10/2018	14 h 00	G. Silande	Résineux et feuillus
	Pont de Roide	25	17/10/2018		T. Susse	Résineux et feuillus
	Vesoul	70	19/10/2018	16 h 30	P. de Broissia	Feuillus et Résineux. Quart Nord-est de la France
	Nevers	71	25/10/2018	11 h 00	J.-L. Bartmann	Feuillus et Résineux
	Poisson	71	26/10/2018	8 h 45	B. Goutorbe	Feuillus et Résineux
	Saulieu	21	14/11/2018		T. Susse	Résineux
	Simandre	71	15/11/2018	17 h 00	F. Bachelet	Peupliers
	Mervans	71	03/12/2018	17 h 00	F. Leforestier	Feuillus bord de route
	Verosvres	71	07/12/2018	9 h	J.-P. Leroy	Résineux et feuillus
	Salins les Bains	39	10/12/2018	17 h 00	F. Leforestier	Feuillus bord de route
	Offemont	90	17/12/2018	17 h 00	F. Leforestier	Feuillus bord de route
Bretagne	Iffendic (Rennes)	35	22/11/2018	14 h 30	L. Lemerancier	Résineux et feuillus
Centre Val de Loire	Bourges	18	14/11/2018	9h	A. Janny	Feuillus
	La Croix en Touraine	37	21/11/2018	14 h 30	E. Delaunay	
	La Bussière	45	05/12/2018	14 h 30	I. de Chasseval	Feuillus et Résineux
Pays de La Loire	Solesmes	72	25/10/2018	14 h	E. Lorne	
	Solesmes	72	20/12/2018	14 h	G. de Lavernée	
Occitanie	Mazamet	81	24/10/2018	10 h 00	F. Lejuez	
Grand Est	Bains les Bains	88	21/09/2018	14 h 00	L. Chavane	Feuillus et Résineux
	Nancy	54	09/10/2018	14 h 30	A. Haaz	Feuillus sur pied
	Cirey sur Vezouze	54	11/10/2018	14 h 30	A. Haaz	Résineux sur pied
	Rolampont	52	18/10/2018	14 h 30	J. Rousselin	Feuillus sur pied ou bord de route
	Gondrexange	57	janvier 2019		E. de Turckheim	
Normandie	Ferté Fresnel	61	06/11/2018	14 h 00	F. Hauet	Feuillus et Résineux
Hauts de France	Taissy	51	11/09/2018	14 h 00	L. Massy	Feuillus et Résineux
	Pierrefonds (Oise)	60	24/10/2018	14 h 30	J.-M. Peneau	
	Hirson	2	11/12/2018	14 h 00	L. Massy	Feuillus bord de route
	Pierrefonds (Oise)	60	30/01/2019		J.-M. Peneau	
Île de France	Paris	75	24/11/2018	8 h 30	P. Costaz	Feuillus et Résineux
	Paris	75	24/11/2018	11 h 00	Vasselot & du Cluzeau	Feuillus et Résineux

Experts forestiers de France, 6 rue Chardin, Paris, 75016 - Tél : 01 40 50 87 34

EFF est une marque déposée, propriété de la CNIEFEB.

Cette association à vocation syndicale a pour principale objectif le développement du métier d'Expert forestier et d'Expert Bois. Désormais, les Experts forestiers de la CNIEFEB communiqueront exclusivement à travers leur marque « EFF ».

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

Directeur de la publication
Antoine d'Amécourt

Directrice de la rédaction
Claire Hubert

Rédactrice
Nathalie Maréchal

Conception graphique
Mise en page
Sophie Saint-Jore

Responsable Édition-Diffusion
Samuel Six

Diffusion - abonnements
François Kuczynski

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

Impression
Imprimatur
43 rue Ettore Bugatti
87280 Limoges
Tél.: 05 55 04 14 04

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

Périodicité : 6 numéros par an
Abonnement 2018
France : 50 € - étranger : 63 €
édité par le CNPF-IDF

Commission paritaire des publications et
agences de presse : n° 1019 B 08072
ISSN: 0752-5974
Siret: 18009235500452

Les études présentées dans Forêt-entreprise
ne donnent que des indications générales.
Nous attirons l'attention du lecteur sur la
nécessité d'un avis ou d'une étude émanant
d'une 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 : septembre - octobre 2018



Sylvain Gaudin © CNPF

Le sol est un monde mystérieux et méconnu, dont nous redécouvrons progressivement l'importance.

Il est l'objet de nouvelles initiatives politiques pour promouvoir sa conservation :

- Année internationale des sols 2015¹,
- Initiative 4 pour 1 000² lancée à l'occasion de la COP 21...

L'ampleur des sols détruits par l'activité humaine à l'échelle de la planète est en effet inquiétante. En France, grâce à un climat moins contrasté et une population relativement stabilisée, l'attention porte plus sur la qualité des sols et sa capacité à rendre des services que sur l'érosion.

Les forestiers accordent depuis toujours une importance considérable au sol, notamment pour choisir leur essence de reboisement, car il est avéré que les qualités du sol et notamment sa capacité à retenir l'eau conditionnent la sylviculture. Mais les interactions entre le sol et la forêt, qui rendent de nombreux services comme la fixation du carbone, la régulation du cycle de l'eau, sont moins connues ; et l'on peine d'ailleurs à déterminer la part de ces services rendue par le sol ou par la forêt.

Il me paraît inutile de chercher à trancher ce débat, car la responsabilité du propriétaire porte à la fois sur le peuplement et le sol. Il appartient aux propriétaires de conserver, d'améliorer leurs sols tout autant que leurs peuplements forestiers. Or, le contexte forestier évolue vers une intensification des prélèvements de bois, arbres entiers, en mécanisant la sylviculture et l'exploitation, autant de perturbations (exportations minérales et tassement) pouvant être irréversible sur les sols. La responsabilité de chaque propriétaire vis-à-vis des générations futures porte d'ailleurs davantage sur le sol, que sur les peuplements qui, malgré tout et de façon relative, sont plus éphémères. Le cycle de genèse d'un sol se chiffre plutôt en dizaines de milliers d'années qu'en dizaines d'années ! C'est une logique patrimoniale individuelle, mais aussi globale (au sens de mondiale) qu'il s'agit de promouvoir.

Comment prendre soin de quelque chose que l'on connaît mal ? Ce dossier vous apportera de nouvelles connaissances et éléments de réflexion : il renvoie à l'ouvrage récemment publié par le CNPF : *Les sols forestiers* rédigé par François Charnet ; ce document est utile dans votre bibliothèque de forestier averti.

Je souhaite que ces informations nous sensibilisent à notre responsabilité essentielle de préserver les sols : préservons la terre sur Terre !

Claire Hubert, directrice générale du CNPF

¹ www.fao.org/soils-2015/fr/
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

² www.4p1000.org/fr : Initiative internationale « 4 pour 1000 » : accroître le stock de carbone dans les sols de 0,4 %, soit 4 % par an, permettrait de stopper l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère liée aux activités humaines.



S. Gaudin © CNPF

Dysmoder décapé par couches. Litière de châtaignier, pin sylvestre et chêne sessile en forêt domaniale de la Croix-aux-Bois (Champagne-Ardenne).

Numéro suivant N° 243
Chalfrax, programme national sur la chalarose du Frêne

ACTUS > 4

AGENDA > 65

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

Renseignements sur : www.foretpriveefrancaise.com
 ↳ rubrique librairie ↳ les publications de l'IDF
 ou par courriel : idf-librairie@cnpf.fr



30 % de remise
pour les adhérents de groupes de développement

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

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

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

Dossier
Connaître sa forêt : identifier les stations

Changer à la plantation • Apporter à la forêt forêt autochtone • Diagnostiquer dans l'attente changement climatique

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

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

CNPF

Intentions de coupes et travaux prévues aux Plans simples de gestion en Normandie

Anne-Pernelle Duc

6

BIOCLIMSOL

Un outil de vigilance climatique et de choix des essences appliqué au châtaignier

Jean Lemaire

14

INFORMATIQUE

Sylvamap : solution digitale pour une gestion nouvelle génération

Entretien d'Alban Le Cour par Nathalie Maréchal

21

RIPISYLVE

Un indice pour qualifier les fonctions des ripisylves

Bruno Balligand et Noémi Havet

49

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Recommandations pour une sylviculture traditionnelle adaptative

François-Xavier Valengin

54

ÉCONOMIE

Amélioration de la conjoncture de la filière forêt-bois

Nathalie Maréchal

59

SANTÉ DES FORÊTS

Phytophthora ramorum, premier foyer sur mélèze du Japon en France

Morgane Goudet, Claude Husson, François-Xavier Saintonge, Xavier Grenié, Laurence Roche

62

Dossier :

Sols forestiers, intégrer les dynamiques

> 22 Sols forestiers,
intégrer les dynamiques
Julien Fiquepron

> 24 Qu'est-ce qu'un sol ?
François Charnet

> 28 Estimer le réservoir en eau des sols
Quelles fonctions de pédotransfert
le forestier doit-il utiliser ?
Christian Piedallu, Noémie Pousse, Ary Bruand,
Lucie Dietz et Julien Fiquepron

> 33 Pratic'Sols,
guide sur la praticabilité
des sols forestiers
Didier Pischedda

> 37 Les recommandations
déjà mises en pratique
par Forêts & bois de l'Est
Entretien d'Alain Jacquet par Nathalie Maréchal



S. Gaudin © CNPF

> 40 En forêt, érosion rime
avec prévention
Frédéric darboux, Arnaud Legout et Julien Fiquepron

> 44 Le carbone organique
des sols forestiers, un stock
en constante évolution
Delphine Derrien



laforetbouge.fr est une plateforme de services gratuits pour les propriétaires forestiers afin de les accompagner dans la gestion et à la valorisation de leur patrimoine forestier. Créée par le Centre national de la propriété forestière (CNPF) en lien avec les partenaires professionnels, le site regroupe outils et modules pratiques pour gérer sa forêt (localiser ses parcelles sur une carte et suivre ses interventions), trouver un professionnel qualifié (annuaire), connaître le prix des bois et les démarches qu'il convient d'effectuer. Le site propose également une bourse foncière, qui permet d'acheter et de vendre des parcelles (avec mise en relation via le site). Pour les soutenir dans leur mission de sylviculteur et les sensibiliser aux enjeux liés à ce patrimoine, les partenaires publics et privés ont conçu et développé laforetbouge.fr. Le credo de cet outil unique et innovant à dimension nationale : mettre à la disposition des propriétaires forestiers une boîte à outils capable de répondre à des problèmes d'ordre pratique et favoriser les échanges avec les professionnels et les institutionnels du monde forestier. Une vidéo explicative [accessible ici](#) présente toutes les fonctionnalités de l'outil.

Label Bas Carbone

Le LABEL Bas Carbone est le nouveau référentiel pour la réalisation de projets de séquestration du carbone, il sera publié à l'automne par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). Les actions de compensation carbone volontaire de particuliers, d'entreprises ou collectivités dans des projets de séquestration de carbone additionnel, via des itinéraires de sylviculture adaptée ou dans des produits bois seront ainsi quantifiées et validées par ce label. Ce référentiel est conçu et rédigé par l'ACE, en partenariat avec le CNPF et le GIP Massif Central. Le CNPF a rédigé les trois premières méthodes forestières (de quantification du carbone dans les projets), qui seront annexées au Label en fin d'année, après leur validation par le MTES.



France Bois Forêt : nouveau président

Michel Druilhe est élu à la présidence de l'Interprofession nationale pour une mandature de trois ans (2018-2021) : « L'enjeu est le maintien d'une cohésion entre l'amont et l'aval de la filière forêt-bois, afin d'entreprendre des actions communes pour le développement des entreprises du secteur et maintenir le patrimoine forestier français. » La création d'un observatoire économique de la filière et d'une veille économique mutualisée assure depuis 2015, un suivi de la structure et de la situation économique de la filière forêt-bois. En 2017, une campagne de communication stratégique a développé en volume la consommation du bois en France et favorisé l'accroissement des parts de marché pour la production française. Après la création d'une commission sur le pin maritime fin 2016, l'interprofession forêt-bois ouvre une commission sur les feuillus, afin de formaliser le futur plan de la filière feuillu.

Chiffres clés de la filière forêt bois

Les principaux chiffres sont régulièrement mis à jour par l'observatoire économique de France Bois Forêt : point de conjoncture, point sur les principaux marchés et les études en cours. L'étendue des informations mobilisées par l'ensemble des organisations professionnelles membres de FBF concourt à la Veille économique mutualisée. **Toutes les informations présentées dans cette synthèse sont disponibles sur le site de France Bois Forêt : www.franceboisforet.fr**

Fransylva nouveau directeur général



Laurent de Bertier est le nouveau directeur général de Fransylva*, il succède à Luc Bouvarel. Sous l'impulsion du président Antoine d'Amécourt, il mettra en œuvre la stratégie définie par le conseil d'administration de Fransylva. Sa mission sera d'œuvrer aux intérêts de la forêt privée, en s'appuyant sur les compétences de l'équipe de Fransylva. Laurent de Bertier animera la dynamique de ce réseau en assurant une bonne cohérence entre les territoires et les instances représentatives du niveau national. Ancien colonel, Laurent de Bertier est aussi propriétaire forestier et praticien de la forêt et de sa gestion.

* Fransylva fédère le réseau national de syndicats de propriétaires forestiers au niveau départemental et régional.
www.fransylva.fr

Une nouvelle aide à l'amélioration des peuplements forestiers

Une nouvelle aide nationale à l'amélioration des peuplements forestiers est destinée à favoriser le renouvellement en qualité et en quantité des peuplements, dans le cadre du volet « agricole » du Grand Plan d'Investissement (GPI) 2018-2022 du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Cette aide nationale à double performance économique et environnementale a pour objectif de :

- encourager les investissements sylvicoles pour améliorer la qualité des peuplements à moyen et long terme ;
 - favoriser le développement d'une ressource en bois en adéquation avec les besoins des industriels ;
 - inciter les propriétaires forestiers à entreprendre le renouvellement des peuplements de faible valeur économique et environnementale ;
 - préparer les forêts aux conséquences du changement climatique et des conditions sanitaires évolutives ;
 - maximiser la séquestration de carbone par les arbres.
- Ce dispositif, adossé au Fonds stratégique de la forêt et du bois (FSFB), est doté de 4 M€ pour 2018. Il doit concourir à la création de valeur et d'emploi, objectif central du Programme national de la forêt et du bois (PNFB), en mobilisant et en gérant durablement la ressource forestière. Complémentaire aux mesures des programmes régionaux européens FEADER et du dispositif « Dynamic Bois » de l'Ademe, cette mesure sera déclinée en région en privilégiant la mutualisation des moyens apportés par chaque co-financier.

Mérandiers de France : nouveau président

Le syndicat des mérandiers élit son nouveau président Vincent Lefort : « Rassembler au moins 80 % de la merranderie française au sein du SMF est un des objectifs de mon mandat.



Tout en renforçant son rôle d'interlocuteur auprès des acteurs du chêne, nous ambitionnons de lancer une formation au métier de mérandier, ainsi qu'un projet d'innovation technique. » Leader mondial, la tonnellerie française bénéficie d'une reconnaissance historique, qu'elle doit à son savoir-faire et à une matière première exceptionnelle : le chêne français, particulièrement recherché pour l'élevage des vins.

Nouveau diplôme en sciences et ingénierie forestières

AgroParisTech ouvre un nouveau diplôme en sciences et ingénierie forestières pour les 2 dernières années de la formation d'ingénieur avec le cursus généraliste, en sciences et ingénierie du vivant. Depuis la fusion de l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (Engref) dans AgroParisTech en 2007, la formation des ingénieurs forestiers de l'Engref ou FIF-Engref n'existait plus. La nouvelle appellation « SIF » rend la formation d'ingénieur forestier plus visible auprès des professionnels, des recruteurs ou des étudiants potentiels. Les futurs cadres devront maîtriser l'économie de la forêt et du bois, ainsi que les sciences et techniques sur le climat, les biotechnologies, la biomasse, les nouvelles technologies comme des outils pour évaluer le carbone ou la logistique. Une trentaine de recrues suivront chaque année le cursus.

AgroParisTech affiche, pour ses ingénieurs forestiers, un taux d'emploi de 100 % dans les 6 mois pour les jeunes diplômés. *Forestopic*

Des antimicrobiens dans le bois

Des chercheurs de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) (Canada) découvrent l'importante activité antimicrobienne de plusieurs composés chimiques extraits du peuplier faux tremble. Différentes méthodes ont été testées pour extraire ces composés ayant des propriétés biologiques intéressantes, notamment antimicrobiennes et antioxydantes, à partir de procédés simples comme le broyage et la macération. Parmi les substances obtenues, figurent plusieurs composés phénoliques, dont des polyphénols et des flavonoïdes, ainsi que quelques terpénoïdes et alcaloïdes. Il est alors observé que ces extraits inhibent la prolifération de plusieurs micro-organismes pathogènes, tels qu'*Escherichia coli*, staphylocoque doré, *Candida albicans*, *Salmonella enterica*, qui sont autant de micro-organismes présents dans les hôpitaux et les usines de production alimentaire. L'eau peut être utilisée comme solvant, ce qui rend le procédé encore moins coûteux et moins polluant. « Les extraits pourront servir à préparer des produits désinfectants pouvant être utilisés pour nettoyer des surfaces de production alimentaire et d'hôpitaux. Ces antimicrobiens pourraient aussi être employés comme agents de conservation dans l'industrie alimentaire pour inhiber la prolifération des bactéries. » explique la chercheuse Annabelle St-Pierre.

Université du Québec

La situation des forêts du monde, édition 2018



Le Programme des Nations Unies pour le développement durable à l'horizon 2030 et ses 17 objectifs de développement durable (ODD) est le cadre central d'orientation des politiques de développement du monde entier. L'édition de La situation des forêts du monde en 2018 montre comment les forêts et la gestion durable de celles-ci contribuent à la concrétisation de plusieurs de ces ODD, notamment l'évaluation de la contribution des forêts et des arbres à nos paysages et à nos moyens d'existence. La première évaluation des ressources forestières du monde en 1948 évaluait si l'offre de bois d'œuvre serait suffisante pour satisfaire la demande mondiale ; cette publication permet à un public beaucoup plus large de comprendre en quoi les forêts et les arbres sont si importants pour les personnes, la planète et la postérité.

www.fao.org/documents/card/en/c/19535FR/

Le génome du chêne dévoile la longévité des arbres

Le génome du chêne pédonculé a été séquencé par un consortium national de l'Inra et le CEA¹. Leurs travaux révèlent deux facettes de la longévité de cette espèce emblématique :

- un arsenal de gènes de résistance particulièrement riche et diversifié permet aux arbres de faire face tout au long de leur vie à leurs grands prédateurs (champignons pathogènes, oomycètes, insectes, bactéries et virus) ;
- la présence de mutations pouvant être transmise à la génération suivante.

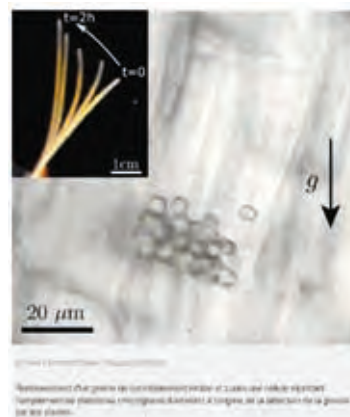
Des technologies de séquençage à haut débit ont séquencé et assemblé les 750 millions de nucléotides du chêne, dont la diversité génétique est dix fois plus importante que celle de l'homme. L'annotation de ce génome révèle qu'il contient 51 % d'éléments transposables (séquences d'ADN capables de se déplacer dans un génome) et 26 000 gènes dont 36 % sont organisés en groupes de gènes contigus, alors qu'en moyenne, cette proportion n'est que de 15 % chez les plantes. Ce résultat soulève des questions sur l'importance évolutive de cette diversité. Les chercheurs ont ainsi montré que les gènes de résistance du chêne avaient particulièrement bénéficié de ces duplications, ce qui pourrait expliquer leur longévité.

© Revue Nature Plants, 18 juin 2018.

<http://presse.inra.fr/Communiques-de-presse/genome-du-chene>

Comment les plantes ressentent-elles précisément la gravité ?

Les plantes sont capables de percevoir des inclinaisons, même très faibles. Pourtant, le mécanisme végétal pour mesurer la gravité est composé de grains microscopiques, un outil de détection de l'inclinaison très peu précis *a priori*. Des chercheurs du CNRS, de l'Inra et de l'Université Clermont Auvergne expliquent ce curieux paradoxe en observant que ces grains sont agités en permanence dans les cellules végétales, ce qui confère au système granulaire des propriétés proches de celles d'un liquide, comme dans un niveau à bulle. Si l'on penche une plante, celle-ci corrigera sa croissance pour pousser à nouveau à la verticale, grâce à des « inclinomètres » cellulaires : des cellules remplies de grains d'amidon microscopiques, les statolithes. La position du tas de grains dans les cellules indique le bas et guide ainsi l'élongation de la plante dans la direction qui lui permet de revenir à la verticalité, en modifiant la distribution d'une hormone de croissance végétale.



Des chercheurs de l'Institut universitaire des systèmes thermiques industriels (CNRS/Aix Marseille Université) et du laboratoire de Physique et physiologie intégratives de l'arbre en environnement fluctuant (Inra/Université Clermont Auvergne) se sont associés pour résoudre ce paradoxe. L'observation du mouvement des statolithes en réponse à une inclinaison a montré que ces grains ne se comportent pas comme un milieu granulaire classique, mais qu'ils se déplacent et coulent dans la cellule, quel que soit l'angle qu'on lui impose. Comme un liquide, la surface du tas de statolithes finit toujours par revenir vers l'horizontale.

La question de la façon dont les cellules font pour « fluidifier » le tas de grain reste à résoudre.

http://www2.cnrs.fr/sites/communiquer/fichier/cpcnrs_statolithes_vok_frweb.pdf

PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences)

30 avril 2018.

Intentions de coupes et travaux prévues aux Plans simples de gestion en Normandie

 15 min

Anne-Pernelle Duc, CNPF-CRPF Normandie

La moitié des forêts privées normandes disposent d'un document de gestion durable, ce qui témoigne d'un réel intérêt pour la gestion forestière. Les PSG peuvent être étudiés pour estimer le dynamisme de la gestion, notamment par la connaissance des coupes et travaux qui y sont programmés. Pour mettre en œuvre sa gestion, l'implication du propriétaire lors de la rédaction du PSG doit rester privilégiée.

Le propriétaire, avec son gestionnaire, programme des coupes dans son Plan simple de gestion (PSG) s'il les juge réalisables économiquement et techniquement au moment de la rédaction. Le PSG, validé à une date donnée reflète donc un contexte forestier particulier pour une période donnée : prix des bois, problèmes sanitaires, impact des politiques forestières, « incitativité » des subventions publiques et rôle des acteurs de la forêt et du bois...

L'objectif est de se doter d'un moyen de suivre la dynamique actuelle des intentions de coupes dans les forêts sous PSG, par des indicateurs sur ces intentions de gestion, afin d'adapter la stratégie du CRPF en fonction de ces résultats. Avoir une idée des perspectives pour les 5 prochaines années permet d'ajuster en conséquence, le conseil porté aux propriétaires forestiers privés et les actions d'animation ou de communication de la filière.

Grâce à l'aide financière de la DRAAF¹ Normandie, le CRPF de Normandie a réalisé une analyse des intentions de coupes dans les PSG en cours de validité en 2017. Elle consiste à construire un indice simple à partir des surfaces de coupes prévues aux PSG, selon la nature de l'intervention ou le type de peuplement.

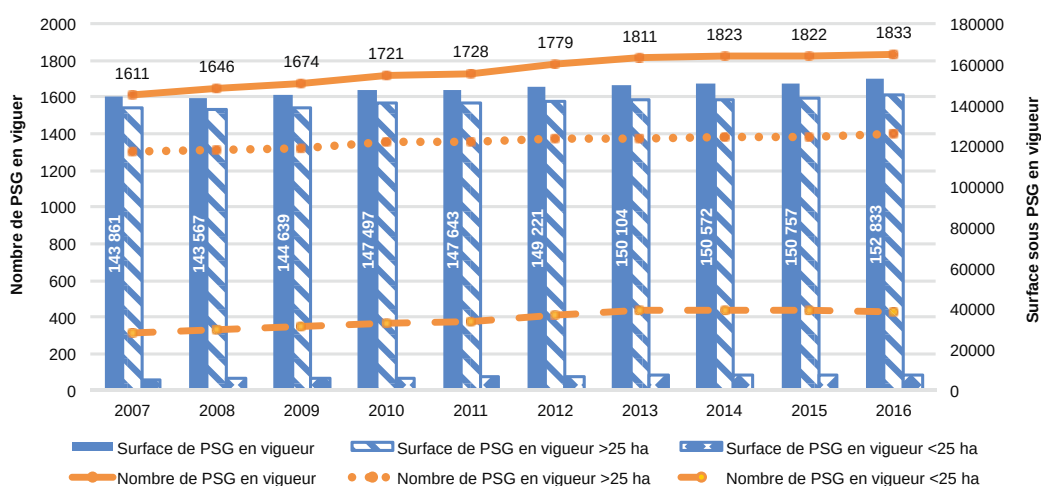
Le contexte forestier régional

En Normandie, la forêt s'étend sur environ 420 000 hectares (ha), soit 14 % de la surface régionale. La forêt privée représente $\frac{3}{4}$ de la surface boisée régionale, soit autour de 315 000 ha². Une partie de cette surface forestière est couverte par des PSG : autour de 1 800 PSG recensés pour une surface d'environ 150 000 ha en 2017. On compte également plus de 45 propriétés adhérentes à un Règlement type de gestion (RTG) (soit 489 ha)

¹ Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt.

² Source : IGN, inventaire forestier, campagne d'inventaires 2011-2015.

Graphique 1 - Évolution du nombre de PSG en vigueur et de la surface de forêts sous PSG en Normandie de 2007 à 2016



et 246 adhérentes à un Code des bonnes pratiques sylvicoles (CBPS) (soit 2 414 ha). Ainsi près de 50 % de la surface des forêts privées normandes est couverte par un document de gestion durable.

La donnée issue de la saisie des Plans simples de gestion

Source des données

Lors de la procédure d'instruction des PSG, le personnel technique du CRPF de Normandie les intègre (avec leurs dates de validité) dans la base de données nationale du CNPF nommée Merlin. Les intentions de coupes et travaux (en surface) prévues sur la durée d'un PSG sont notamment saisies par année, par parcelles forestières et par type de peuplement. À partir de cette base de données, nous avons extrait en juin 2017 les informations des PSG en cours de validité pour chaque année considérée de 2007 à 2021.

Évolution des surfaces sous PSG au cours des 10 dernières années

Le *graphique 1* illustre l'évolution de 2007 à 2016 du nombre et de la surface sous PSG en vigueur chaque année : environ + 200 PSG pour environ + 9 000 ha (soit + 6 % en surface) en 10 ans. Cette augmentation du **nombre** est due pour moitié à l'évolution du nombre de PSG d'une surface < 25 ha. On en déduit ici l'effet de la politique d'aide aux PSG volontaires mise en place par les ex-régions Haute et Basse-Normandie.

L'augmentation en **surface** est surtout liée à celle des propriétés de plus de 25 ha sous PSG (+ 6 900 ha). L'évolution réglementaire

de 2012 concernant les PSG nouveau seuil (suppression de la notion « d'un seul tenant ») est un facteur expliquant en partie cette augmentation. De plus, les campagnes de relance du CRPF auprès des propriétés sous Régime d'autorisation administrative³ (RAA) en 2011 et 2013 ont également joué dans l'augmentation de la surface sous PSG.

L'analyse de l'évolution au cours des dix dernières années des surfaces des différents types de peuplements décrits dans les PSG a été également réalisée. Elle met en valeur l'effort porté en Normandie concernant la conversion des mélanges futaie-taillis les plus riches vers la futaie régulière feuillue : diminution de la proportion de mélange futaie-taillis et augmentation de celle en futaie régulière feuillue (passage d'environ 26 % de la surface forestière totale sous PSG en 2007 à environ 34 % en 2016).

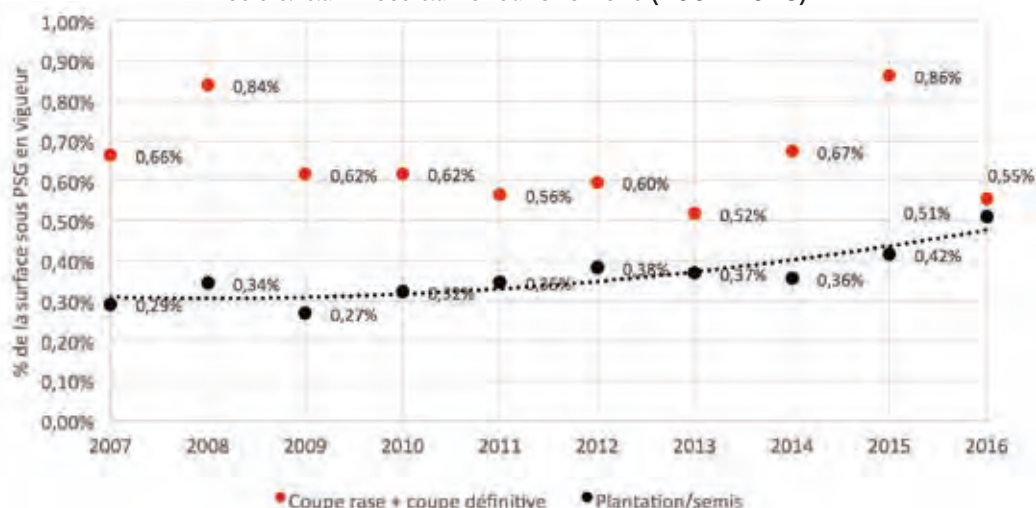
Un indice simple pour analyser l'évolution des intentions de coupes et travaux

Le suivi de l'évolution des surfaces d'intervention année après année doit se réfléchir en prenant en compte la surface totale de forêts dotées d'un PSG pour l'année considérée. En effet, elle varie d'une année sur l'autre, du fait de l'expiration de certains PSG devant être renouvelés ou de l'agrément de nouveaux PSG. Ainsi, les intentions de coupes et travaux programmées aux PSG sont étudiées en les rapportant à la surface de PSG effectivement valides chaque année. L'indice construit est donc issu du ratio (exprimé en %) suivant :

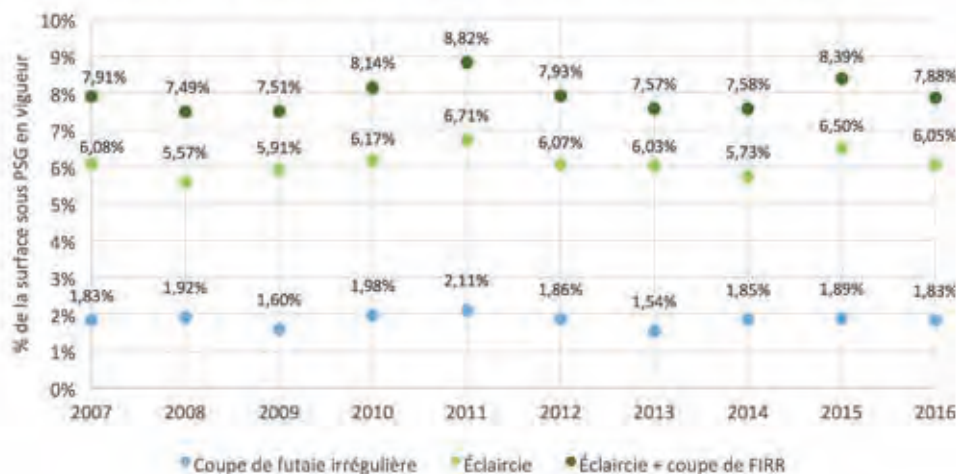
$$r = \frac{\text{Surface totale programmée pour un type d'intervention à l'année X}}{\text{Surface totale de forêt sous PSG à l'année X}}$$

³ Autorisation de coupe en l'absence de PSG obligatoire.

Graphique 2 - Évolution en surface des intentions de coupes et travaux liés au renouvellement (2007-2016)



Graphique 3 - Évolution en surface des intentions de coupes et travaux liés aux récoltes intermédiaires (2007-2016)



En 2000, les ORF⁴ prescrivaient en Normandie un effort de renouvellement, pour les forêts privées, compris entre 1 890 ha/an et 2 500 ha/an pour pouvoir renouveler les peuplements de mélange futaie-taillis et les futaies régulières en 80-90 ans. La surface de forêt privée sous PSG représentant en moyenne autour de 47 % de la surface totale de forêt privée sur la période 2007-2016, cela correspond à un effort attendu compris entre 890 et 1 200 ha/an pour ces forêts.

⁴ Orientations régionales forestières : les ORF fixent la stratégie (objectifs et actions) à mener pour la gestion des forêts publiques ou privées, ainsi que pour le développement des entreprises de la filière bois, dans le contexte spécifique de la gestion durable.

Évolution des intentions de coupes sur la période 2007-2016

Le calcul du ratio r permet de suivre : d'une part l'évolution en surface des intentions de coupes et travaux liés au renouvellement des peuplements forestiers normands sous PSG (coupes rases, coupes de régénération naturelle [définitives], plantations/semis) et d'autre part liées aux récoltes « intermédiaires » (coupes d'éclaircie et coupes de futaie irrégulière).

Le *graphique 2* met en évidence un pourcentage d'intentions de coupe de renouvellement d'en moyenne 0,65 % chaque année. Cela signifie qu'il faut théoriquement autour de 150 ans pour renouveler intégralement la forêt privée normande sous PSG. En comparaison, le taux des intentions de « plantation/semis » a augmenté progressivement au cours des dix dernières années et tend à s'appro-



CRPF Normandie © CNPF

cher des valeurs observées pour la coupe rase. La surface sous PSG en vigueur étant en moyenne de 148 069 ha sur cette période, l'effort de renouvellement des intentions de coupes renseignées serait d'environ 960 ha/an ($0,65 \% \times 148\,069$) et donc répondant aux attentes des ORF.

Le *graphique 3* indique un taux d'intention en récoltes intermédiaires d'en moyenne 7,92 % de la surface sous PSG en vigueur chaque année. Cela correspond à une rotation moyenne de passage en coupe d'éclaircie ou coupe de futaie irrégulière de 12 ans.

Si l'on décline l'analyse selon les types de peuplement, les rotations moyennes de passage en éclaircie sont les suivantes :

Type de peuplement	Rotation moyenne calculée
Futaie régulière feuillue	12,7 ans
Futaie régulière résineuse	9 ans
Mélange futaie-taillis	14,6 ans
Futaie irrégulière	10 ans
Taillis	23 ans

Ces moyennes sont de façon logique assez conformes aux préconisations des SRGS normands. Un biais est introduit par l'instruction

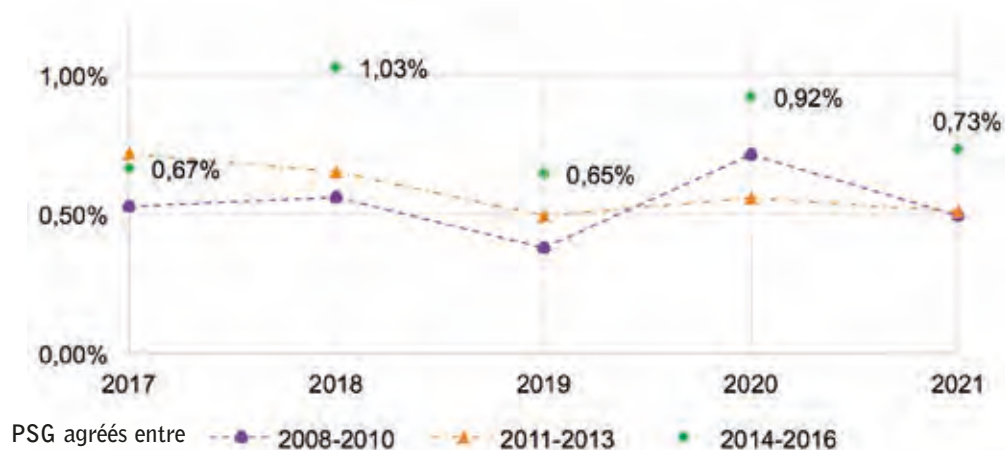
des PSG : une rotation plus longue que prévue au SRGS⁵ sans argument justificatif entraînerait une demande de correction du PSG. Néanmoins, les intentions de récoltes intermédiaires pourraient être plus dynamiques pour les futaies régulières feuillues. Dans le ciblage des actions d'animation du CRPF, ce constat pousse à développer les réunions de vulgarisation sur la thématique des éclaircies en peuplements feuillus.

Perspectives pour les 5 prochaines années

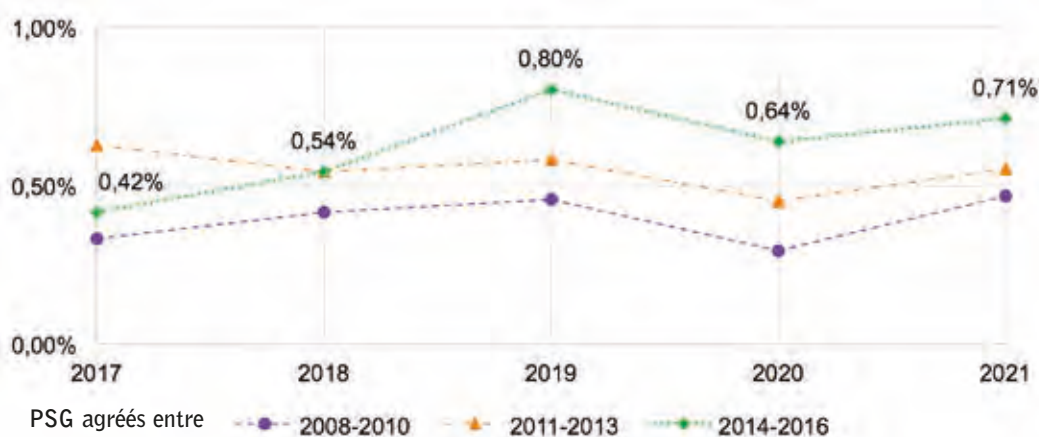
Les mêmes calculs ont été réalisés pour la période 2017 à 2021. Le taux d'intentions de coupes liées au renouvellement des peuplements sur la période 2017-2021 est proche de celui calculé sur la période 2007-2016 avec en moyenne 0,58 % de la surface sous PSG. Parallèlement, le taux d'intentions pour les plantations/semis est d'en moyenne 0,59 % et donc plus élevé que celui calculé sur la période 2007-2016 (0,36 %). Cela indique qu'un reboisement (plantation/semis) est de plus en plus réalisé après une coupe rase (abandon du traitement taillis) et que la régénération artificielle tend à être de plus en plus employée. Le taux d'intentions de coupes en récoltes intermédiaires est de 7,8 % en moyenne sur

⁵ Schémas régionaux de gestion sylvicole en Normandie : www.cnpf.fr/normandie/n/les-schemas-regionaux-de-gestion-sylvicole/n:1670

Graphique 4 - Intentions de coupes rases et de coupes définitives



Graphique 5 - Intentions de plantations ou semis



la période 2017-2021 et reste donc très proche des valeurs observées sur la période 2007-2016.

Notons que pour l'analyse des intentions de coupe sur la période 2017-2021, ce sont les PSG valides à la date de juin 2017 qui sont étudiés. Ces PSG traduisent la moyenne des intentions écrites lors des années passées (1997-2017) dans des contextes différents : aides au reboisement, prix des bois, demande de produits... Les variations récentes liées à un contexte nouveau sont donc sous-estimées.

L'analyse des intentions de coupes effectuée ici ne permet pas de faire le suivi du dynamisme de l'année en cours et de celui des années à venir.

Afin d'avoir un regard sur les dynamiques dans l'évolution des intentions de coupes aux PSG, il paraît plus pertinent **d'étudier l'évolution des intentions de coupes selon la date d'agrément des PSG valides.** Le calcul du

ratio r Surface d'intention de coupe / Surface sous PSG valides a donc été réalisé, mais en distinguant les PSG par périodes de trois ans : agréés entre 2008-2010, entre 2011-2013 et entre 2014-2016.

Les *graphiques 4 et 5* montrent un taux globalement plus élevé des prévisions de coupes de renouvellement et de plantations/semis pour les PSG agréés de 2014 à 2016 (à part pour les prévisions 2017, où le taux est plus bas que pour les PSG agréés de 2011 à 2013). Les PSG agréés de 2011 à 2013 montrent globalement un dynamisme plus fort que ceux agréés de 2008 à 2010. Ainsi, les PSG tendent actuellement vers plus de dynamisme dans les opérations de renouvellement des peuplements. Le *graphique 6* illustre une légère baisse des intentions d'éclaircie et coupes de futaie irrégulière dans les PSG agréés plus récemment (2014-2016) en comparaison avec les PSG agréés de 2008 à 2010 et de 2011 à 2013 (baisse plus marquée pour les intentions de 2019 à 2021).

Graphique 6 - Intentions d'éclaircies et de coupes de futaie irrégulière



Dans le détail, cette diminution est surtout liée aux prévisions pour les coupes de futaie irrégulière. Les intentions de coupes d'éclaircie restent globalement très proches selon les dates de début des PSG, avec un taux de prévision d'éclaircie en 2017 et 2018 plus élevé pour les PSG agréés de 2014 à 2016.

Remarques et perspectives

Les graphiques obtenus de cette façon sont intéressants pour avoir une idée du dynamisme actuel et dans un futur proche dans les forêts sous PSG. Néanmoins, il est nécessaire de garder à l'esprit :

- ➡ que les surfaces analysées ici sont du « prévisionnel ». Pour avoir une analyse plus complète du dynamisme de gestion dans les forêts sous PSG, il faudrait pouvoir mettre ces tendances en perspective avec un taux de réalisation des coupes prévues au PSG dans le cadre d'un protocole d'échantillonnage et de mesure de l'effectivité des coupes ;
- ➡ que les propriétaires/gestionnaires prévoient généralement les gros investissements sylvicoles en début de PSG.

Ce type de graphique peut être réitéré tous les trois ans, afin de suivre de façon plus réactive la dynamique des intentions de coupes des PSG en Normandie, les effets de certaines politiques publiques incitatives (aides pour les peuplements en impasse sylvicole, animation, contrôles...) et les répercussions liées au contexte de la filière forêt-bois (prix des bois, problèmes sanitaires, essor bois énergie...).

Des intentions de coupes en surface à l'estimation de la ressource potentiellement mobilisable

À partir des intentions de coupes exprimées en surface dans les PSG normands, il est également possible de faire une estimation simple des volumes potentiellement mobilisables dans les forêts sous PSG de 2017 à 2021. Ceci est particulièrement intéressant pour compléter et confronter les différentes études ressources déjà existantes à l'heure de l'élaboration du Programme régional de la Forêt et du Bois (PRFB) en Normandie.

Méthode utilisée

Pour pouvoir établir cette estimation à partir des intentions de coupes⁶ renseignées aux PSG valides à la date de l'export de la base de données Merlin, il faut fixer des prélèvements moyens à l'hectare selon les types de peuplements et les types d'intervention, à multiplier aux surfaces d'intention de coupes correspondantes. Ces prélèvements moyens à l'hectare ont été proposés par le CRPF et établis en concertation avec les principaux gestionnaires forestiers intervenant en Normandie.

La projection pour cette estimation est réalisée à 5 ans (2017-2021) : en 2021, 70 % de la surface des PSG analysée par l'étude seront encore en cours de validité. Pour les intentions de coupes prévues après 2017, il est donc nécessaire d'affecter un coefficient de « redressement » qui tient compte des périodes de « fin d'agrément » de certains PSG sur la période 2017-2021.

⁶ Ne sont estimés que les volumes provenant des 3 types principaux de coupes renseignés dans Merlin : coupe rase, éclaircie et coupe de futaie irrégulière. L'ensemble des autres types d'intervention représente moins de 5 % des surfaces d'interventions prévues aux PSG et le volume moyen récolté à l'hectare est complexe à déterminer pour certains types de coupe (sanitaire, coupe secondaire : très variable selon la situation rencontrée...).

Par exemple : Imaginons qu'il soit prévu en 2017, 200 ha de coupe rase en futaie régulière résineuse, avec une surface totale sous PSG valides de 147 046 ha. En 2018, il y a 150 ha de coupes rases en futaie résineuse programmés dans les PSG restants valides qui recouvrent alors 138 585 ha. Ici, le coefficient calculé est : $(147\,046 / 138\,585) = 1,06$. On prévoit alors en faisant l'hypothèse d'un renouvellement à l'identique des PSG, $150 \times 1,06$ soit 159 ha de coupe rase en 2018.

Type de peuplement	Type d'intervention	Volume BO feuillus (m³)	Volume BIBE (m³) jusqu'à la découpe 7 cm	Volume total (BO +BIBE)
Peuplements feuillus				
Taillis simple	Coupe rase	0	90	90
	Éclaircie, coupe de futaie irrégulière	0	35	35
Futaie régulière	Coupe rase	160	90	250
	Éclaircie — peuplement jeune ⁷	0	25	25
	Éclaircie — peuplement adulte	25	30	55
	Coupe de futaie irrégulière	20	20	40
Mélange futaie taillis	Coupe rase	60	90	150
	Éclaircie	15	30	45
	Coupe de futaie irrégulière	20	20	40
Futaie irrégulière	Éclaircie, coupe de futaie irrégulière	20	20	40
Peuplements résineux				
Futaie régulière	Coupe rase	300	100	400
	Éclaircie — peuplement jeune	0	40	40
	Éclaircie — peuplement adulte	45	15	60
	Coupe de futaie irrégulière	30	15	45

⁷ La donnée précise sur l'âge des peuplements n'étant pas toujours renseignée dans Merlin, les peuplements désignés dans Merlin comme peuplements « jeunes » sont supposés ayant moins de 25 ans et ceux désignés comme peuplement « adulte » comme ayant plus de 25 ans.

L'hypothèse est faite que les programmations de coupes sur cette période resteront similaires à celle des PSG analysés : il s'agit d'une hypothèse forte.

Résultats

L'estimation donne en moyenne autour de 730 000 m³ par an de bois potentiellement mobilisable dans les forêts sous PSG, avec autour de 50 % de bois d'œuvre. Ces volumes proviennent essentiellement des futaies régulières et des mélanges futaies-taillis.

Nb : Les coupes programmées aux PSG pour une année donnée, peuvent réglementairement être réalisées dans un délai de plus ou moins 4 ans. Cela introduit une variabilité dans la répartition des volumes potentiellement mobilisés chaque année qu'il n'est pas possible de prendre en compte dans l'estimation telle qu'elle a été réalisée.

Commentaires

L'estimation de la présente étude a été réalisée en bois fort total⁸ : elle ne comprend donc pas l'export des rémanents d'exploitation (menus bois de diamètre < 7 cm) qui est parfois réalisé. En 2017, l'estimation est de 365 000 m³ de bois d'œuvre et de 327 000 m³ de bois d'industrie-bois énergie (en bois fort total).

Les données fournies en 2016 par l'Inventaire géographique national (IGN) et ayant servi lors de l'élaboration du PRFB indiquent un volume prélevé en forêt privée normande estimé à 400 000 m³ (+/- 100 000 m³) en bois fort tige⁹ dans les « forêts privées sous PSG » soit 600 000 m³/an en volume aérien total¹⁰.

L'estimation de l'étude des PSG est donc plus élevée que les prélèvements estimés par l'IGN, en sachant que le volume potentiellement mobilisable dans les forêts sous PSG est en réalité certainement plus élevé que celui présenté ici. En effet, les volumes mobilisés via des coupes extraordinaires ne sont pas comptabilisés dans l'étude et ne sont pas négligeables, notamment au regard de certains problèmes sanitaires actuels (chalarose du frêne, dépérissement et renouvellement anticipé des résineux blancs...), de l'évolution du contexte « bois énergie » et de l'augmentation du prix du chêne.

Une analyse des intentions à confronter à la réalité d'application

Cette étude montre dans un premier temps l'évolution de la surface totale de PSG en vigueur chaque année dans les forêts privées normandes depuis 2007. Celle-ci est en constante augmentation, du fait notamment de l'aide à la rédaction des PSG volontaires et des campagnes efficaces de relances des forêts sous Régime d'autorisation administrative. Cette surface semble se stabiliser depuis 2013 autour de 1 800 PSG pour une surface proche de 150 000 ha.

L'analyse de l'évolution des intentions de coupe de 2007 à 2016 par le calcul d'un ratio surface d'intention/surface totale sous PSG montre une augmentation des intentions de « plantations/semis », ce qui traduit une part

⁸ Volume bois fort total : volume d'un arbre comprenant la tige principale et les branches en s'arrêtant à la découpe 7 cm.

⁹ Volume bois fort tige : volume de la tige principale d'un arbre en s'arrêtant à la découpe 7 cm.

¹⁰ Volume aérien total : volume total d'un arbre (fines branches comprises).



M. Timmerman © CNPF

croissante du renouvellement par régénération artificielle. Les intentions de coupes de renouvellement sont restées globalement autour de 0,6-0,7 % de la surface totale sous PSG. Les coupes d'amélioration sont restées globalement autour de 7-8 % de la surface totale sous PSG. Cette même analyse, portée sur les intentions de coupes de 2017 à 2021, ne montre pas de différence sensible avec la période antérieure dans l'évolution des intentions de coupe. Pour mieux distinguer les tendances de gestion, les mêmes graphiques ont été produits pour la période 2017-2021, mais en fonction de la date d'agrément des PSG. Les PSG agréés de 2014 à 2016 montrent globalement un plus fort dynamisme dans les intentions de coupes que les PSG agréés de 2008 à 2010 et de 2011 à 2013. Si la tendance semble à la hausse pour les coupes liées au renouvellement, celle-ci semble légèrement à la baisse pour les intentions de coupes d'amélioration (surtout concernant les coupes de futaie irrégulière). Cette analyse peut être reconduite tous les trois ans pour pouvoir suivre de façon plus réactive l'évolution des intentions de coupes dans les PSG et ajuster les actions d'animation et de communication auprès des propriétaires forestiers.

Enfin, l'estimation effectuée à partir des intentions de coupes aux PSG donne en moyenne autour de 730 000 m³/an d'intention de mobilisation de 2017 à 2021 dans les forêts sous PSG : en moyenne 388 000 m³ de bois d'œuvre/an et 342 000 m³ de bois industrie/bois énergie. Cette estimation ne comprend

pas les volumes potentiellement mobilisés via des coupes extraordinaires et les autres types de documents de gestion durable et reste basée sur un prévisionnel de coupes. Pour améliorer cette estimation de la ressource potentiellement mobilisable dans les forêts sous PSG, il faudrait se doter également d'un moyen de suivi des coupes extraordinaires. De plus, elle pourrait être affinée si l'on avait en parallèle des taux de réalisation effective des coupes au PSG à l'année de l'estimation. D'autre part, si elle a été réalisée en fixant des volumes moyens récoltés à l'hectare déterminés de façon argumentée et en concertation avec certains gestionnaires forestiers normands, cette estimation reste une estimation à dire d'expert. Ces données en volume restent ainsi à interpréter avec vigilance et servent surtout à être comparées avec les autres types d'estimations « ressource » réalisées par la filière. ■

Résumé

Une analyse des intentions de coupes programmées aux Plans simples de gestion (PSG) est réalisée en 2017 en Normandie. L'évolution pour les dix dernières années (2007-2016) donne un recul sur les intentions indiquées et les perspectives pour les 5 années à venir (2017-2021). Cette analyse de la dynamique de gestion se fait via le calcul d'un indice simple construit à partir des surfaces de coupes et travaux prévisionnels renseignés dans la base de données Merlin du CRPF lors de l'instruction des PSG. Les intentions de coupes en surface apportent une estimation de la ressource potentiellement mobilisable dans les 5 prochaines années dans les forêts normandes sous PSG.

Mots-clés : Plan simple de gestion, intention de coupes et travaux, ressource potentiellement mobilisable.

BIOCLIMSOL

Un outil de vigilance climatique et de choix des essences appliqué au châtaignier



Par Jean Lemaire, CNPF-IDF



L'outil de diagnostic Bioclimsol est testé pour le châtaignier sur 160 placettes en Occitanie et Auvergne – Rhône-Alpes. Quelles recommandations sylvicoles découlent de ces précisions sur le risque de dépérissement du châtaignier ?

Le châtaignier est une essence exigeante, s'il n'est pas en station le risque de dépérissement est accru.

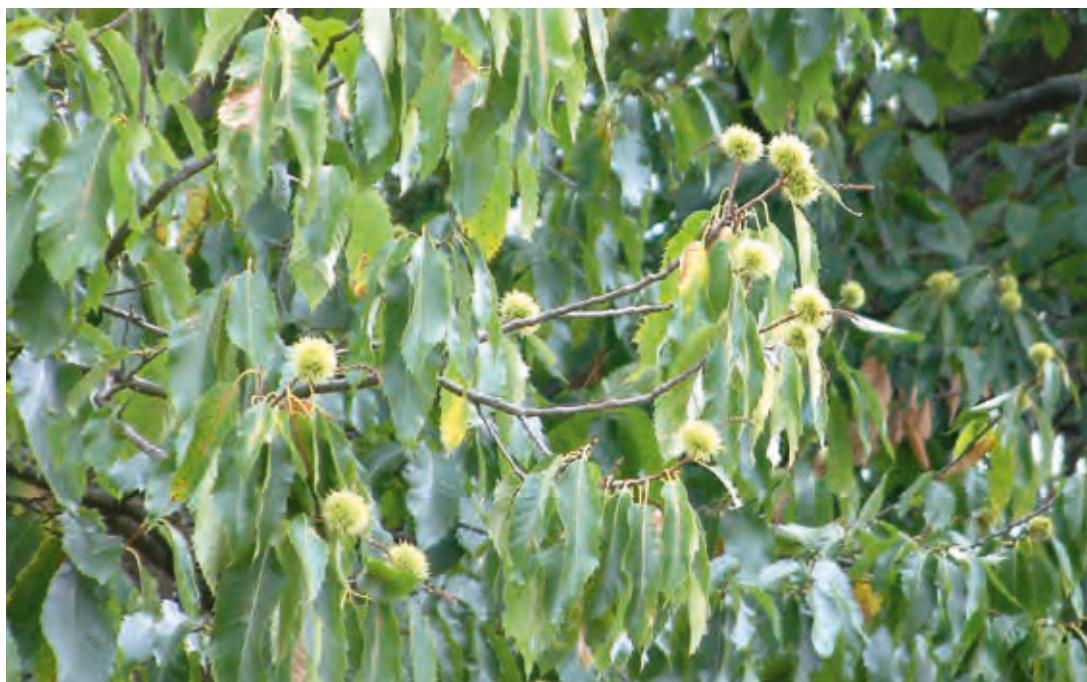
Châtaignier dépérissant suite aux accumulations de sécheresse ces 10 dernières années dans le Sud-est de la France.



BIOCLIMSOL  est un outil de vigilance dans un contexte de changement du climat combinant carte climatique et critères pédologiques et topographiques. La combinaison de ces critères définit si l'essence, en l'occurrence le châtaignier, est dans une zone plus favorable ou moins favorable à la bonne vitalité d'un peuplement.

Bioclimsol diagnostique le **potentiel d'une station au regard du risque de dépérissement** d'un peuplement dans un contexte de climat présent ou futur. Il permet de choisir par son module « boisement et autécologie des essences » une ou des essences potentielles à reboiser en prenant en compte l'hypothèse de réchauffement du climat. Bioclimsol est un outil de **diagnostic sur le terrain** au niveau de la **parcelle, développé pour les techniciens du CNPF** pour répondre aux besoins des sylviculteurs.

L'indice Bioclimsol (IBS) combine le climat, des critères pédologiques et topographiques et pour certaines essences, des critères biotiques (par exemple abondance d'un agent pathogène) pour définir si la station est favorable ou non à l'essence aujourd'hui, voire dans un futur proche (2030-2050). Chaque essence a potentiellement son propre IBS, qui définit l'aptitude stationnelle. Le modèle construit n'est pas un modèle de niche climatique. Il s'agit d'un modèle définissant le risque d'observer du dépérissement en fonction des conditions pédoclimatiques rencontrées. Il prédit *in fine*



J. Lemaire © CNPF

Le châtaignier est une essence des climats à tendance océaniques (pas de trop fortes gelées hivernales) qui craint les sécheresses estivales. Cette photo a été prise fin août 2003, en Sarthe, après la canicule.

la probabilité d'observer ou non s'il y a des risques qu'au moins 20 % des arbres inventoriés sur la parcelle présentent un taux de perte foliaire et/ou de branches mortes supérieurs à 50 % (classe 3 ou + du protocole du DSF¹). Un indice Bioclimesol pour le châtaignier commun est présenté à travers les deux études entreprises en Occitanie et Auvergne - Rhône-Alpes, les limites climatiques et pédologiques de cette essence sont ainsi mieux connues. Des pistes de recommandations sylvicoles sont proposées pour limiter les risques de dépérissements.

Le moteur Bioclimesol

L'indice Bioclimesol est appliqué au châtaignier commun, construit dans l'Hérault et le Tarn, puis testé en Drôme et Ardèche.

L'indice IBS est le moteur de l'outil Bioclimesol. Il combine, sous forme d'équation, des paramètres climatiques ainsi que des critères pédologiques et topographiques en lien avec le risque de dépérissement. L'IBS précise si les conditions stationnelles sont favorables ou non à l'essence au regard du risque de dépérissement dans la région d'études, dans les conditions climatiques actuelles ou dans un futur proche (2030-2050) grâce à l'intégration des données du climat futur du portail Drias². Chaque essence possède son propre IBS. L'IBS est établi pour le châtaignier dans le sud-ouest et sud-est de la France, et présenté dans cet article.

Pour établir l'IBS d'une essence (ici le châtaignier), son niveau de dépérissement est mesuré sur des placettes choisies aléatoirement dans une région d'étude au sein d'un gradient climatique (soit un échantillonnage aléatoire stratifié) défini par le déficit hydrique climatique (P-ETP³). On quantifie, par placette de mesures, la proportion d'arbres dominants ou co-dominants ayant plus de 50 % de perte foliaire et/ou de ramification au sein de la placette de mesure. Un peuplement sera classé dépérissant si au moins 20 % des arbres dominants ou co-dominants inventoriés sur la parcelle ont plus de 50 % de perte foliaire et/ou de ramifications : (classes 3 ou plus du protocole du DSF).

Les données climatiques, employées dans le diagnostic et le modèle statistique, sont recueillies à partir des modèles de MétéoFrance, d'AgroParisTech et du CNPF.

http://www.foretpriveefrancaise.com/data/449232_fe220_p46_52_der_aurelhy_1.pdf.

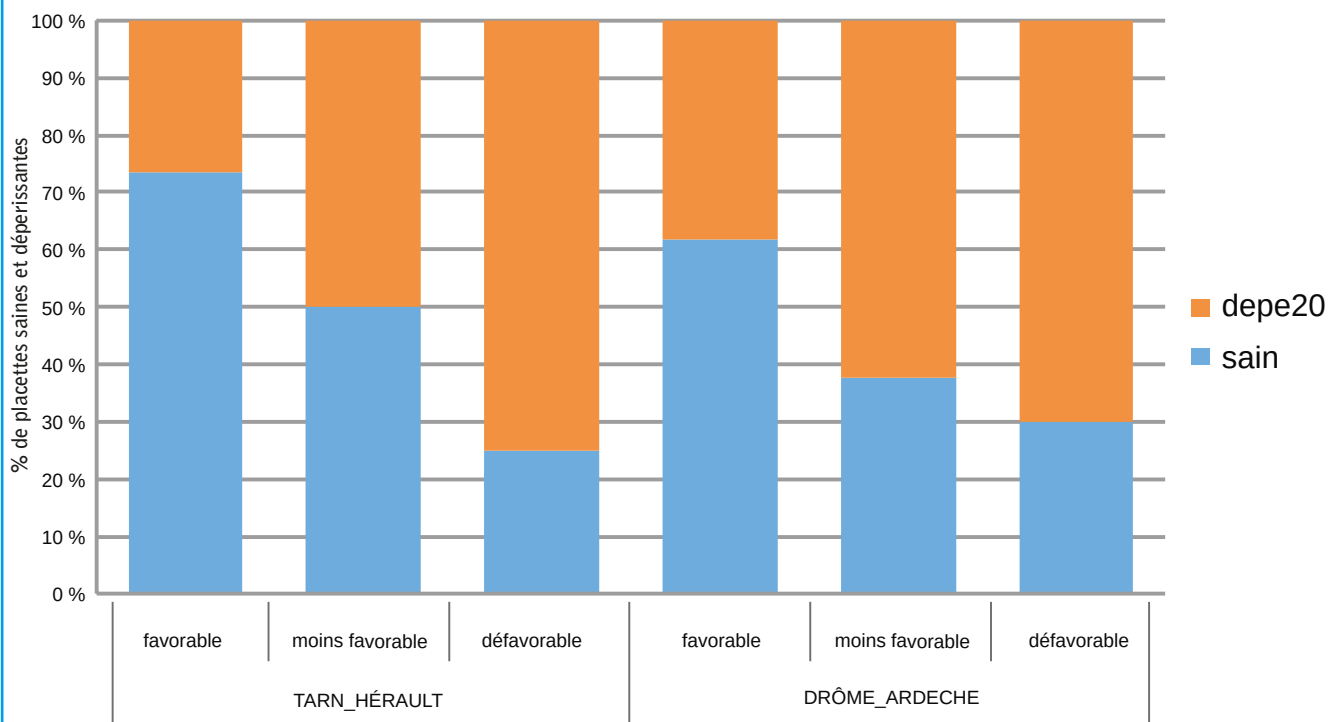
De plus, des données stationnelles sont également systématiquement relevées sur chaque placette (pH, hydromorphie, réserve utile, topographie...) ainsi que la présence du chancre classé virulent ou non virulent. Dans cette étude, aucune présence d'attaque de l'encre n'a été détectée de visu sur les peuplements étudiés.

¹ Protocole Depefeu du Département de la santé des forêts (DSF) : « arbre très (ou fortement) dépérissant » les arbres qui ont une atteinte globale au niveau de houppier de plus de 50 % (notes 3, 3+ et 4 du protocole Depefeu ou déficit foliaire de plus de 50 %, ...).

² Données Drias : des projections climatiques régionalisées des futurs du climat, réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME).

³ Différence entre les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP estimée selon la méthode de Turc [Turc, 1961]).

Figure 1 - L'indice IBS informe sur le risque d'observer des dépérissements



% de placettes dépérissantes au seuil de 20 % des tiges en classe 3 ou plus de Depefeu en fonction de la classe définie par l'IBS (test χ^2 THS $p = 1,4E-6$ nombre de placettes = 159) pour les 159 placettes observées.

Le modèle IBS, développé pour le châtaignier dans le sud de la France et présenté ci-dessous, est mesuré à partir des 90 placettes à l'aide du protocole Bioclimsol dans le Tarn et l'Hérault en été 2014. Ce modèle a été ensuite testé sur un jeu de données indépendant à partir de 69 placettes mesurées en Drôme, Isère et Ardèche, par Manon Desalme (CRPF AURA, 2015) dans le cadre d'une étude de comparaison de modèles.

L'indice IBS est ensuite établi en « croisant », par régression statistique, les données de dépérissement avec les données climatiques, pédologiques et topographiques.

L'équation de l'IBS combine et pondère « l'ensemble » des critères stationnels pour finalement préciser si l'essence est en adéquation stationnelle ou non au regard du risque de dépérissement dans le climat actuel ou futur.

L'exemple d'IBS présenté ici est calculé pour le climat de la moyenne trentenaire 1981-2010. Si l'indice IBS (sans unité) est > 5 , la station est dite **favorable**, il y a peu de risque d'observer des signes de dépérissement. Si l'indice est < -5 , la station est dite **défavorable**, le risque d'observer des signes de dépérissement est

élevé. Si l'indice est situé entre -5 et 5 , la station est dite **moins favorable**. L'équation est spécifique au châtaignier sur le territoire d'étude.

Le niveau de dépérissement est estimé en quantifiant la proportion d'arbres dominants ou co-dominants ayant plus de 50 % de perte foliaire, de branches mortes ou de ramification au sein de la placette de mesure.

6 paramètres liés à la station

Dans le modèle châtaignier, l'IBS prend en compte 6 paramètres liés à la station :

➡ la disponibilité en eau du sol (RU) : plus la Réserve utile estimée à la tarière + pioche est élevée, plus l'IBS augmente et plus le risque de dépérissement diminue ;

➡ la récurrence des années à fort déficit hydrique climatique (= sécheresse climatique), dont le seuil est ici spécifique au châtaignier. Plus le nombre de sécheresses climatiques augmente, plus l'IBS diminue et plus le risque de dépérissement augmente ;

➡ le déficit hydrique estival moyenne trentenaire 1981-2010. Plus le déficit est élevé, plus sa valeur est négative, plus l'IBS diminue et plus le risque de dépérissement augmente ;

Indice de compensation climatique

$ICC = (3,99 + 0,42 * RU [mm] - 0,27 * \text{pourcentage d'année à fort déficit hydrique climatique} [\%] - 6,94 * TPI + 0,2035 * P\text{-}ETP68) - 100$ si HYDRO > 2 – 100 si pH < 4 si pH > 7

Équation de l'ICC pour le châtaignier en PNR Haut-Languedoc, soit 90 placettes dans le climat actuel 1981-2010 testées en Drôme, Isère Ardèche sur 69 placettes

RU = réserve utile estimée à la tarière pédologique et à la pioche,

HYDRO = présence d'hydromorphie au seuil 2 sur 4 dans l'échelle Gonin - Larrieu dans les 50 premiers centimètres de sol, pH eau < 4.5 ou > 7 dans les 50 premiers centimètres de sol.

Pourcentage d'année à fort déficit hydrique climatique = carte de vigilance climatique Bioclimsol.

P-ETP68 : déficit hydrique climatique sur la période juin à août ETP Turc modèle Auritalis.

TPI : Topographic Position Index (indice de position topographique) calculé sur le MNT au 25 m.

Ce modèle est dit provisoire, dans le sens où il est continuellement mis à jour en fonction des données disponibles. Les stations où l'hydromorphie est marquée, le pH déficitaire ou excessif pour la bonne croissance du châtaignier sont quasi inexistantes dans les placettes rencontrées. Ce type de station n'étant pas échantillonné dans cette étude, on retranche 100 à l'indice, car ce sont des stations très défavorables au châtaignier (référence à *L'Autécologie du châtaignier, un fougueux qui craint la sécheresse*, Lemaire J., 2008. Forêt-entreprise n° 179, p. 18-24.).

→ la position topographique définie par le TPI dans un rayon de 100 m, plus l'indice est élevé plus le peuplement est soumis à des dépôts latéraux en eau et plus le risque de dépérissement augmente ;

→ la présence d'une hydromorphie marquée dans les 50 premiers centimètres du sol. Le châtaignier craint fortement l'hydromorphie favorable à l'encre ;

→ le pH : le châtaignier est une essence calcifuge qui craint le calcaire actif en surface. Il lui faut des sols assez riches pour avoir une croissance favorable (pH > 4.5).

La réserve utile, l'hydromorphie, la position topographique et le pH sont à mesurer directement sur le terrain. La récurrence des années à fort déficit hydrique et le déficit hydrique estival sont une donnée climatique cartographiée fournie par Bioclimsol grâce à un outil cartographique sur ordinateur au bureau ou sur tablette directement sur le terrain.

Analyse statistique du modèle châtaignier

La construction de l'indice IBS est une étape importante dans la construction de l'outil. Mais

il convient de tester statistiquement le seuil de significativité du modèle à partir des 159 relevés effectués dans le Tarn et Hérault (zone de calibration du modèle : 90 placettes en 2014) et dans la Drôme, Isère et l'Ardèche (zone de validation du modèle : 69 placettes 2014-2016).

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, le classement de l'IBS permet de distinguer trois classes de station :

- station favorable (fav IBS > 5),
- station moins favorable (moinsfav IBS – 5 à 5) ;
- station défavorable (def IBS < - 5).

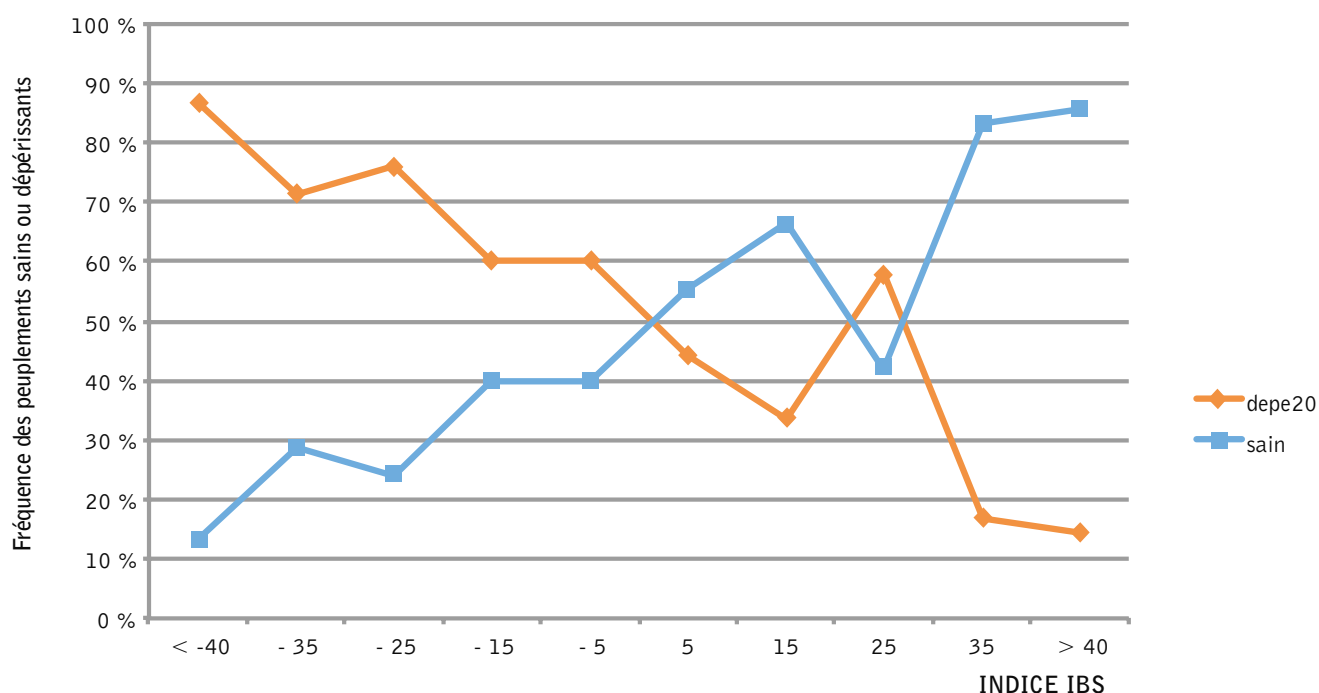
Le test de l'indépendance des variables

Le test statistique CHI² établi sur les 159 placettes montre que l'indice IBS discrimine de façon très significative le risque d'observer des signes de dépérissement (figures 1 et 2). Pour l'indice IBS favorable, c'est à dire > 5, on a environ 17 % de chance de rencontrer un peuplement dépérissant au seuil de 20 % de tiges en classe 3 ou 4 de Depefeu. Ce pourcentage est par contre de 56 % dans les stations moins favorables et défavorables soit un risque 3,3 fois plus élevé.

Le modèle, combinant des critères de sol et de climat, identifie bien le risque de rencontrer du dépérissement ou non. Le test CHI² est

⁴ En statistique, le test du CHI² teste l'indépendance entre deux variables qualitatives X et Y.

Figure 2 - Répartition de la fréquence en % des placettes saines et dépérissantes en fonction de l'indice IBS



Pour rappel, un peuplement est classé dépérissant si au moins 20 % des arbres de la placette au plus de 50 % de perte foliaire ou de perte de ramification (classe 3 et plus du protocole Depefeu ou Defifol).

ainsi très hautement significatif : dans la zone de construction du modèle (Tarn - Hérault : $p=0,0003$) et hautement significatif dans les départements de validation (Drôme, Isère et Ardèche : $p = 0,009$) (Figure 1).

La figure 2 permet de relier l'indice IBS avec la probabilité de rencontrer un peuplement dépérissant (ligne en pointillé rouge). Pour un indice IBS de -35, la probabilité d'observer un peuplement avec 20 % de tiges en classe 3 ou + de Depefeu est de 72 %. Ce même risque est de 18 % à l'indice 35 soit une baisse de risque d'environ 4 % tous les 5 points d'indice IBS gagné.

Test Anova

L'analyse Anova permet de discriminer les stations classées en fonction de l'IBS. Ainsi, environ 40 % des tiges ont un déficit foliaire supérieur à 50 % dans les stations jugées défavorables avec l'IBS contre 15 % dans les stations favorables. Le test s'avère très hautement significatif tant dans la zone de construction du modèle que dans la zone de validation (Drôme, Isère et Ardèche) (figure 3).

L'outil Bioclimsol s'avère discriminant pour distinguer les stations favorables ou défavorables au châtaignier dans la zone d'étude. Il évalue le risque en fonction des

caractéristiques stationnelles rencontrées. 7 fois sur 10, il permet de bien classer l'état sanitaire du peuplement rencontré entre dépérissant (seuil de 20 % de tiges en classe 3 ou plus) et sain dans le Tarn et Hérault. Le taux de mauvais classement est de 35 % en Drôme - Ardèche.

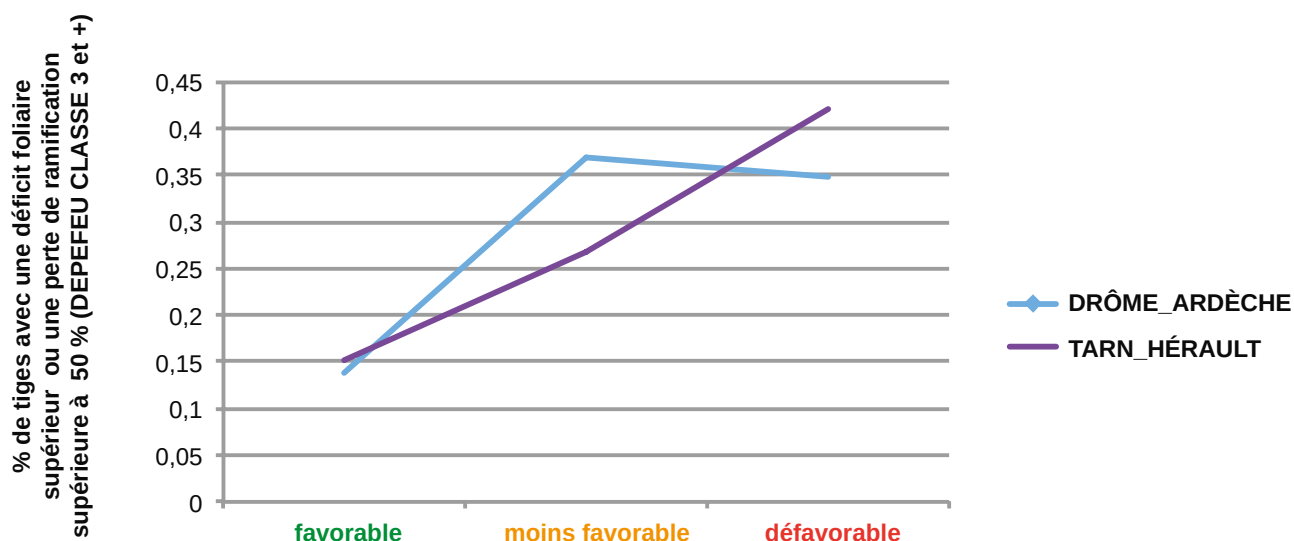
Perspectives

L'étude « Châtaignier sur le territoire du PNR Haut Languedoc » dans le Tarn et l'Hérault menée en 2015 a validé statistiquement un indice IBS à partir des 90 placettes mesurées. Ce même modèle a été testé sur le territoire de la Drôme, de l'Isère et de l'Ardèche avec le même protocole par l'équipe du CRPF Auvergne - Rhône-Alpes.

Comment améliorer la résilience des châtaigneraies face au changement climatique ?

Voici un ensemble de recommandations sylvicoles non exhaustives, qu'il est possible d'énoncer au regard des résultats des différentes études entreprises dans les secteurs touchés par du dépérissement suite à des à-coups climatiques.

Figure 3 - Proportion de tiges avec un déficit foliaire supérieur à 50 % en fonction du classement de la station obtenu avec l'Indice BioClimSol (IBS) (test anova THS $p=0.00001$ n placettes = 159)



Résultat ANOVA 2 croisée : Étude = lieu Tarn- Hérault ou Drome - Isère - Ardèche ; Classement PLS Essence = ICS en trois classes Favorable ; Défavorable ou moins Favorable.

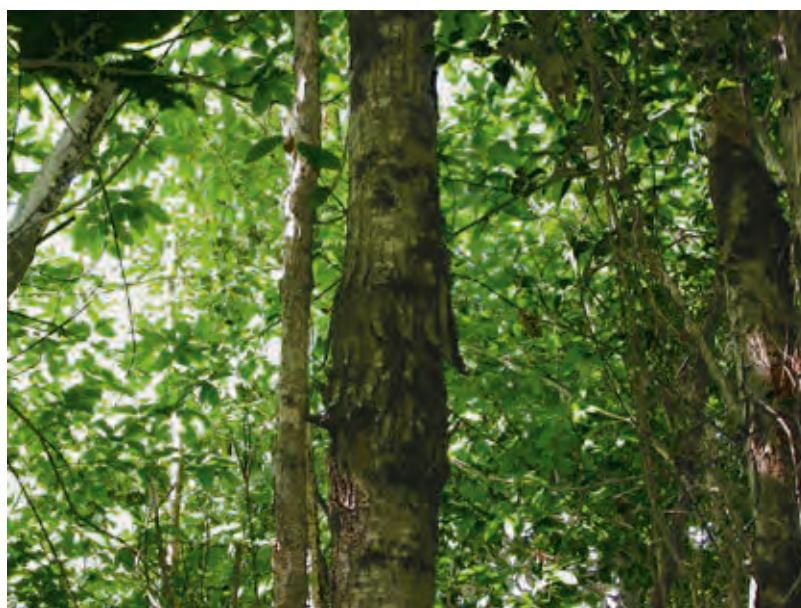
1 - Établir un diagnostic pédologique et climatique sur les parcelles, qui identifie les contraintes climatiques auxquelles a été et sera probablement soumis le châtaignier. Employer le module boisement de la future application pour choisir des essences de reboisement dans un contexte de changement du climat. Le châtaignier est un feuillu précieux, il convient de le favoriser dans des stations assez riches (pH eau > 4 et < 7) et dans des climats pas trop sec en été (P-ETP68 > - 210 mm).

Dans les régions au sud de la Loire, il faut le favoriser dans les versants N, NE.

Éviter de reboiser en châtaignier dans les zones défavorables ou peu favorables au châtaignier, définies par l'IBS.

2 - Définir le niveau de résilience du peuplement avec le protocole ARCHI⁵ : combien et quels arbres vont réagir positivement à l'éclaircie ?

3 - Éviter le tassement du sol, favorisant la propagation de l'encre. L'encre est un champignon de type Phytophthora. Il colonise les racines provoquant des anomalies de croissance. Lors de sécheresse, le système racinaire étant affaibli, l'arbre est beaucoup plus sensible à cet à-coup climatique. Il est de première importance d'installer des cloisonne-



Chancre hypovirulent. Dans une parcelle de châtaignier, il faut repérer les arbres présentant des chancres cicatrisés. Ces arbres permettent de propager l'hypovirulence dans les parcelles touchées par le chancre. Il convient d'en conserver 30 à 90 /ha.

ments d'exploitation pour faciliter l'abattage et le débardage des tiges et éviter le tassement des sols. On peut aussi tester à titre expérimental des variétés hybrides de châtaignier plus résistantes au Phytophthora.

⁵ Drénou 2012 et 2014.

4 - Pratiquer une sylviculture dynamique, mais sans à coup dans les peuplements âgés. Être vigilant et passer régulièrement



J. Lemaire © CNPF

Un châtaignier est un arbre à croissance rapide, quand il est dans une station qui lui est favorable et qu'il est géré dynamiquement.

⁶ Sylviculture du châtaignier, Forêt-entreprise n° 179 n° spécial, coord. Lemaire J. 2008, 58 p.

⁷ Dossier Les pathologies du châtaignier évoluent, les sylvicultures aussi ; Lemaire J. ; 2005. Forêt-entreprise n° 165 p.17-49.

(réduire les rotations) dans les peuplements pour conserver croissance, vigueur et ambiance forestière. Le châtaignier est une essence à croissance rapide dans le jeune âge. Il convient de mener des éclaircies dynamiques avant 12 m de hauteur. Au-delà de 18 m - 20 m de hauteur, les éclaircies devront être plus prudentes⁶.

Éclaircir et limiter l'impact du chancre en prélevant les tiges avec des chancres virulents. Conserver un minimum de tiges avec du chancre hypovirulent, s'il est présent, pour favoriser son extension. Il est difficile de citer un nombre précis, mais 30 à 90 tiges/ha semblent un bon compromis⁷.

5 - Conserver le plus possible l'ambiance forestière et des bandes latérales d'abris (d'autant plus au sud de la Loire). Les boisements sont plus soumis à l'effet de forte température et de dessèchement de l'air, nocif au châtaignier. Cette ambiance forestière est d'autant plus importante qu'on entreprend une régénération naturelle pour éviter qu'elle ne grille sous l'effet de fortes températures.

Conclusion

Le châtaignier est une essence sensible au changement climatique, il a été installé par l'homme pour des usages divers : fruit, piquet,... Très souvent, il est situé dans des stations, qui lui sont peu favorables pour produire du bois de qualité. Il convient, dans l'objectif de production de bois d'œuvre, de le favoriser dans des stations, qui lui sont favorables. Ce diagnostic est « facilement » réalisable. L'outil de terrain Bioclimsol aide au diagnostic, mais ne doit jamais se substituer aux connaissances du technicien sur place. Il lui permet de prendre des orientations de gestion plus fines. L'outil, par son principe de fonctionnement, impose une phase de terrain. À l'aide d'une tarière et d'une pioche, d'une analyse du pH et d'une tablette équipée de l'outil informatique (l'application sera disponible en 2020) et formé à la méthode ARCHI, le technicien disposera d'un outil complet d'aide au diagnostic sur le terrain. ■

À RETENIR

Les limites climatiques et pédologiques du châtaignier sont précisées par l'outil Bioclimsol après 2 études en Occitanie et Auvergne – Rhône-Alpes. Le châtaignier est sensible au changement climatique, l'outil Bioclimsol distingue les stations favorable ou défavorable et évalue

le risque de dépérissement. Des recommandations sylvicoles peuvent améliorer la résilience des châtaigneraies.
Mots-clés : Bioclimsol, châtaignier, changement climatique, dépérissement.

Sylvamap : solution digitale pour une gestion nouvelle génération



Entretien avec Alban Le Cour cofondateur de Sylvamap¹ par Nathalie Maréchal, CNPF-IDF

*Un nouveau regroupement de propriétaires forestiers est constitué en Gieef** en Val-de-Loire. Pour faciliter une gestion concertée du programme de coupes et travaux, la plateforme numérique de services Sylvamap est choisie. Quels services particuliers sont développés en complément de ceux du nouveau site laforetbouge.fr ?*

Quel est l'objectif des incitations récentes au regroupement de propriétaires forestiers ?

Alban Le Cour : Le parcellaire forestier est parfois une vraie problématique. Afin de s'affranchir de la contrainte du morcellement forestier, la Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt de 2014 a instauré le Gieef pour accroître la récolte de bois et une meilleure performance environnementale. Le Gieef regroupe des propriétaires forestiers pour mutualiser leur gestion forestière au-delà de la limite géographique de leurs parcelles. Et Sylvamap apporte la solution technique pour la mise en application de cette gestion 2.0.

Quelle est l'offre particulière de services par Sylvamap dans le suivi de la gestion d'un Gieef ?

Sylvamap est une plateforme numérique, qui développe de multiples services aux propriétaires dans leur gestion forestière courante. La 1^{re} étape est la numérisation de l'ensemble des données du Plan simple de gestion (PSG) ou du document de gestion durable :

- ➡ cartographie des parcelles,
- ➡ description du peuplement,
- ➡ gestion antérieure et prévue,
- ➡ année de réalisation des travaux,
- ➡ facture ou devis,
- ➡ planning de l'itinéraire de gestion défini à la parcelle, etc. Il est aussi possible d'intégrer des photos, des éléments comptables. Sylvamap apporte un service supplémentaire dans la gestion forestière mutualisée avec des accès différenciés et personnalisés pour chaque adhérent. Chaque membre accède à la partie personnelle du PSG concerté et reste maître de sa propriété. En parallèle, le gérant choisi accède à l'ensemble du PSG concerté du Gieef et pilote la gestion globale du territoire

forestier concerné. Avec Sylvamap, toutes les actions sont synchronisées, les membres du Gieef sont informés simultanément. D'autre part, l'objectif du Gieef est de coordonner autant que possible les interventions entre les différents massifs. Grâce à la gestion des échéances de Sylvamap, chacun des propriétaires sera rappelé de ses prévisions. Des arbitrages de travaux pourront se prendre en commun au plus grand bénéfice de la rentabilité (massification des achats ou augmentation du volume vendu).

Le nouveau Gieef de Val-de-Sarthe est-il le premier à utiliser un outil numérique comme Sylvamap ?

Oui, le Gieef de Val-de-Sarthe se compose de 3 propriétaires qui ont élu, en leur sein, un gérant commun. Les trois propriétaires ont conçu, en amont et de façon concertée, le programme de coupes et travaux et les objectifs environnementaux communs. Les membres du Gieef de Val-de-Sarthe ont choisi Sylvamap, comme outil digital pour une gestion forestière concertée.

Le programme de coupes et travaux concerne les 4 massifs sur 900 ha ainsi réunis. Les bois seront vendus en commun et par voie de contractualisation. Pour chaque nouveau chantier, les membres du Gieef de Val-de-Sarthe se rapprocheront des propriétaires des parcelles adjacentes, afin d'étudier le potentiel d'un agrandissement du Gieef. ■

Formation

- Associations syndicales, ASGF et GIEEF : mode d'emploi - Du 3 au 4/10/2018 - Limoges (87)

Renseignements : idf-formation@cnpf.fr
ou sur le site : www.foretpriveefrancaise.com/n/le-catalogue-des-formations-de-l-idf/n:534

¹ Sylvamap est une start-up nantaise créée fin 2011, spécialiste de la gestion forestière digitale à destination des propriétaires et des gestionnaires forestiers. À partir de technologies de cartographie et de gestion de projet, cet outil facilite le suivi en ligne du Plan simple de gestion forestière, grâce à une interface simple d'utilisation et un pôle géomatique à disposition de ses clients. En démocratisant le suivi d'un Plan simple de gestion en ligne, Sylvamap contribue à la mobilisation de la ressource et donc à la filière.

* Un Groupement d'intérêt économique et environnemental forestier (Gieef) est un outil structurant, visant à dynamiser la gestion durable de la forêt privée. Des propriétaires forestiers privés se regroupent pour les enjeux économiques et environnementaux au niveau d'un territoire forestier. Les propriétaires forestiers membres d'un Gieef, reconnu officiellement par l'État, bénéficient des avantages similaires à ceux accordés aux adhérents d'organisations de producteurs reconnues du secteur forestier dans le cadre des dispositifs d'encouragement fiscal à l'investissement en forêt (DEFI) avec :
- la suppression du seuil plancher de surface pour bénéficier du DEFI travaux pour les membres des Gieef, qu'ils soient propriétaires individuels, porteurs de parts d'un groupement forestier ;
- un crédit d'impôt au taux de 25 % pour les volets travaux et contrat du DEFI pour les membres de Gieef, au lieu de 18 % pour les propriétaires individuels.
Pour le DEFI travaux, le contribuable bénéficiaire du crédit d'impôt doit s'engager à rester membre du Gieef jusqu'à la fin de la quatrième année suivant celle de la réalisation des travaux.



Sols forestiers, intégrer les dynamiques

S. Gaudin © CNPF

par Julien Fiquepron, CNPF-IDF

Léonard de Vinci énonçait déjà « **Nous en savons plus sur le mouvement des corps célestes que sur le monde sous nos pieds** ». À l'occasion de la parution du livre *Les sols forestiers* de François Charnet, ce dossier vous propose justement de mieux vous familiariser avec ces sols. Un précédent dossier de Forêt-entreprise, s'intitulait d'ailleurs *Le sol forestier, cet inconnu*¹.

Alors que notre perception des sols demeure très statique, l'objectif de ce dossier est de vous révéler les dynamiques qui s'y cachent. Qu'est ce qu'un sol ? Le premier article – extrait de l'ouvrage *Les sols forestiers* – présente les notions clés de pédogénèse (genèse du sol), pour comprendre la variété des grands types d'horizons dans le sol et leur évolution.

Une des dynamiques les plus visibles dans le sol est celle de l'eau. Il s'agit ici de présenter de nouveaux coefficients pour estimer la taille du réservoir utile, lequel représente la quantité d'eau disponible pour la végétation qu'un sol peut stocker.

La teneur en eau est un paramètre capital, dont dépend la capacité d'un sol à supporter le passage d'engins ou traficabilité. Notion à l'origine du nouveau guide *Pratic'Sols*, dont la présentation est ici enrichie par le témoignage d'un utilisateur sur les enjeux de préservation des sols et l'appropriation des recommandations du guide.

Ensuite, un autre lien entre eau et stabilité des sols est abordé avec une sensibilisation aux enjeux d'érosion en forêt. Il ne s'agit plus uniquement de dégradation, mais de véritable perte de sol. Cette sensibilisation est importante, car les solutions à la portée des forestiers sont presque exclusivement préventives.

Enfin, sans aller jusqu'aux corps célestes chers à Léonard de Vinci, vous constaterez que si l'évolution des teneurs en CO₂ dans l'atmosphère est de notoriété publique, il existe également une dynamique du carbone dans les sols forestiers. Le dernier article vous révèle les connaissances sur les stocks de carbone et sur les spécificités de la dynamique du carbone dans les sols forestiers, laquelle varie notamment selon le type d'horizon.

¹ *Le sol forestier, cet inconnu*. F. Charnet coord. Forêt-entreprise n° 171, 2006. <https://www.foretpriveefrancaise.com/publications/voir/507/foret-entreprise-n-171/n:541>

Sommaire

24 Qu'est-ce qu'un sol ?

28 Estimer le réservoir en eau des sols
Quelles fonctions de pédotransfert le forestier doit-il utiliser ?

33 *Pratic'Sols*, guide sur la praticabilité des sols forestiers

37 Des recommandations déjà mises en pratique par Forêts & bois de l'Est

40 En forêt, érosion rime avec prévention

44 Le carbone organique des sols forestiers, un stock en constante évolution



Formation



Julien Fiquepron, ingénieur CNPF - Institut pour le développement forestier (IDF), travaille sur la construction de partenariats Forêt-Eau, pour valoriser les services environnementaux fournis par les sylviculteurs. Les principales recommandations pour l'eau consistent à protéger les sols.

- Diagnostic des sols et applications forestières – Florac (48) – 18-21 septembre
- Dégradation physique des sols forestiers : évaluation du risque et mesures d'aménagement – Charrey sur Saône (21) - 17-18 octobre

Une dynamique de projets sur les sols :

- L'Ademe¹ a organisé le 25 juin 2018, le séminaire *Comment Préserver les sols forestiers dans un contexte de récolte accrue de bois ?* avec de nombreux résultats, notamment sur la fertilité chimique des sols.

Lien pour télécharger les présentations :

<https://partage.ademe.fr/public/20a35e>

- Non traitée dans ce dossier, la fertilité biologique des sols vient de faire l'objet d'une brochure publiée par le Gip Ecofor² : Nivet C., Aubert M. et Chauvat M., 2018. *Gestion durable et biodiversité des sols forestiers*. Téléchargeable sur : http://docs.gip-ecofor.org/public/bgf/BGF_Synthese4_Sols.pdf

¹ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

² Groupement d'Intérêt Public, Écosystèmes forestiers.

La formation des sols, expliqué par Francis Hallé
<https://www.youtube.com/watch?v=349HB1vaERM>



Ainsi, la richesse des dynamiques dans le sol est mise en évidence. Mieux comprendre ces phénomènes vous aidera à mieux choisir les orientations sylvicoles (notamment l'estimation du réservoir utile pour le choix des essences),

à mieux prévenir l'impact des travaux d'exploitation (recommandations sur la praticabilité, ou l'érosion) et aussi à promouvoir les services environnementaux produits (stockage du carbone, protection des sols et de l'eau). ■

Les sols forestiers

Auteur : François Charnet - Éditions CNPF-IDF

Fruit de l'expérience d'un pédologue « de terrain », ce manuel pratique et technique apprend à « lire » les sols forestiers et, à la lumière de travaux récents, donne quelques règles de bonne gestion pour bénéficier de leurs potentialités de production sans affecter sur la durée leurs qualités fondamentales. Enrichi de nombreux schémas, photos et tableaux synthétiques, il ambitionne d'être un guide pour la compréhension de cet objet singulier - à la fois commun et mal connu qu'est le sol forestier, milieu de croissance et « garde-manger » des arbres (en eau et éléments nutritifs), mais aussi écosystème majeur des zones tempérées. *Les sols forestiers* propose de former à la fois les non-spécialistes et des utilisateurs plus exigeants par deux niveaux de lecture, qui permettent d'une part d'acquérir les bases, d'autre part d'enrichir et d'approfondir ses connaissances :

- Un guide pour connaître les sols, savoir les décrire, et comprendre leurs principales caractéristiques. Il propose une synthèse de la pédologie naturaliste issue de la typologie des stations forestières (mettant à contribution les plantes indicatrices et une interprétation qualitative des formes d'humus) et une pédologie plus analytique d'où sont exposés les concepts de base.

- Un guide pour assimiler les codes et les règles d'une gestion des sols forestiers qui préserve et optimise les potentialités du sol.

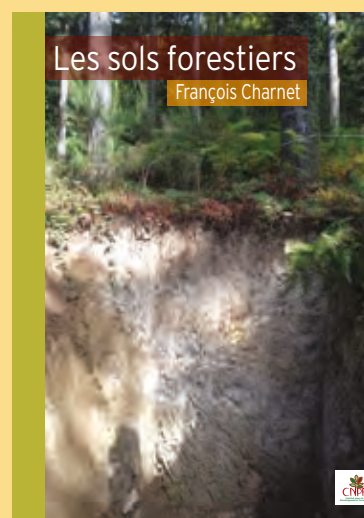
Une revue commentée de quelques types de sols communs du territoire français, qui révèle la variété et la diversité de la couverture pédologique française.

160 pages illustrées de nombreux schémas, dessins, cartes, graphiques, tableaux, photos.

Format 21 x 29,7 cm.

Prix : **35 €**

En vente en ligne : www.foretpriveefrancaise.com/publications/voir/671/les-sols-forestiers/n:541



Public : pédologues novices, sylviculteurs, gestionnaires et experts forestiers, techniciens forestiers, animateurs et formateurs (Fogefor, Cetef, CFPPA), étudiants en foresterie ou en environnement, naturalistes.

Qu'est-ce qu'un sol ?

Par François Charnet, CNPF-IDF

Définition du sol

Le sol est la couche la plus superficielle qui recouvre les terrains géologiques. Elle est généralement meuble et d'épaisseur variable : de quelques centimètres à près d'un mètre sous nos climats, elle peut atteindre plusieurs mètres sous un climat tropical. Elle provient d'une altération de la roche sous-jacente, appelée pour cette raison roche-mère.



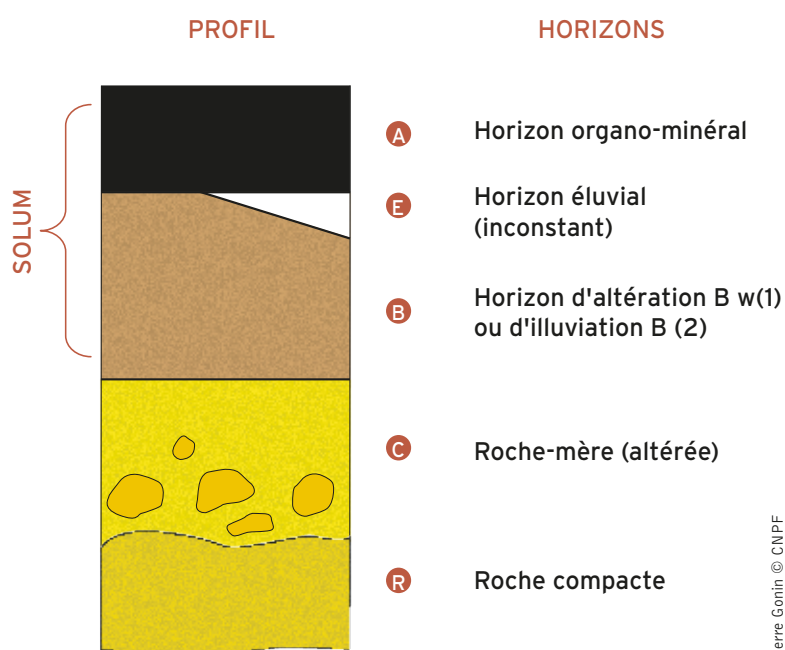
Photo 1 - Profil de sol brun sur argile à silex.

Pour les pédologues français Jean Boulaïne et Georges Aubert : « Le sol est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent » (1967). Il s'est formé en quelques siècles ou quelques milliers d'années, sous l'influence de périodes climatiques et de végétations successives, et sous le contrôle du relief. C'est donc le résultat d'un héritage.

Morphologie

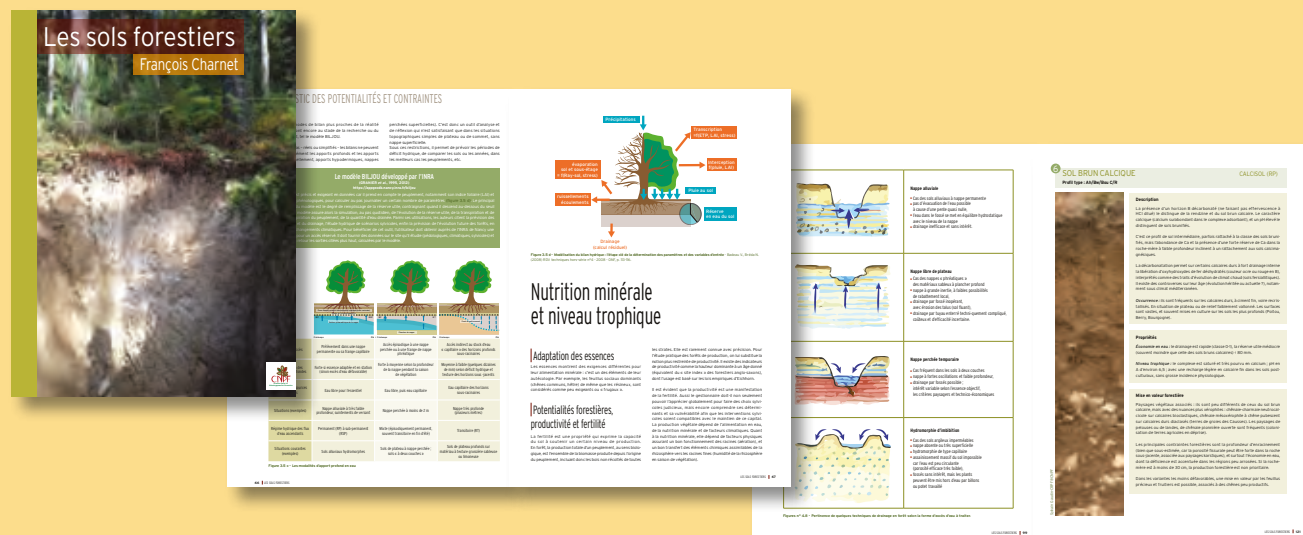
C'est la caractéristique la plus accessible d'un sol, facilement observable sur le terrain, d'après une tranchée ou un sondage. Le sol apparaît (*photo 1, figure 1*) comme la superposition de couches à peu près parallèles à la surface, d'une épaisseur de quelques centimètres à quelques décimètres, qui se singularisent par leur aspect, leur couleur, leur consistance au toucher. Les spécialistes dénomment ces couches, les horizons.

Figure 1 - Profil de sol : représentation schématique.



Cet article est un extrait du livre *Les sols forestiers* de François Charnet (2017). Cette synthèse présente des notions clés pour comprendre la morphologie des sols, c'est-à-dire les grands types d'horizons du sol. Il éveillera, nous l'espérons, votre curiosité pour approfondir vos connaissances sur les sols dans la suite de l'ouvrage.

À ce titre, vous pouvez aussi consulter l'article de Forêt-entreprise n° 238 p. 10-13 (janvier 2018) *Le sol forestier toujours d'actualité*, présentant le contenu du livre.



La nature et le nombre des horizons varient selon les sols. Leur notation conventionnelle avec le système A-B-C est un héritage des débuts de la science du sol. Elle s'est affinée depuis, avec la définition de variantes en recourant à de nombreux indices. Ainsi on distingue parmi les horizons de surface de type A, les horizons Ap (p comme perturbé : cas des sols agricoles travaillés) et les horizons Ah riches en humus (cas dominant dans les sols forestiers).

La plupart des sols incluent les trois grands types d'horizons, comme sur la photo 1

➡ En surface, recouvrant le sol minéral, on observe en forêt des couches organiques, constituées de matière organique en décomposition provenant de la chute annuelle des feuilles, des aiguilles ou des brindilles : ce sont les litières au sens large, horizons presque entièrement organiques.

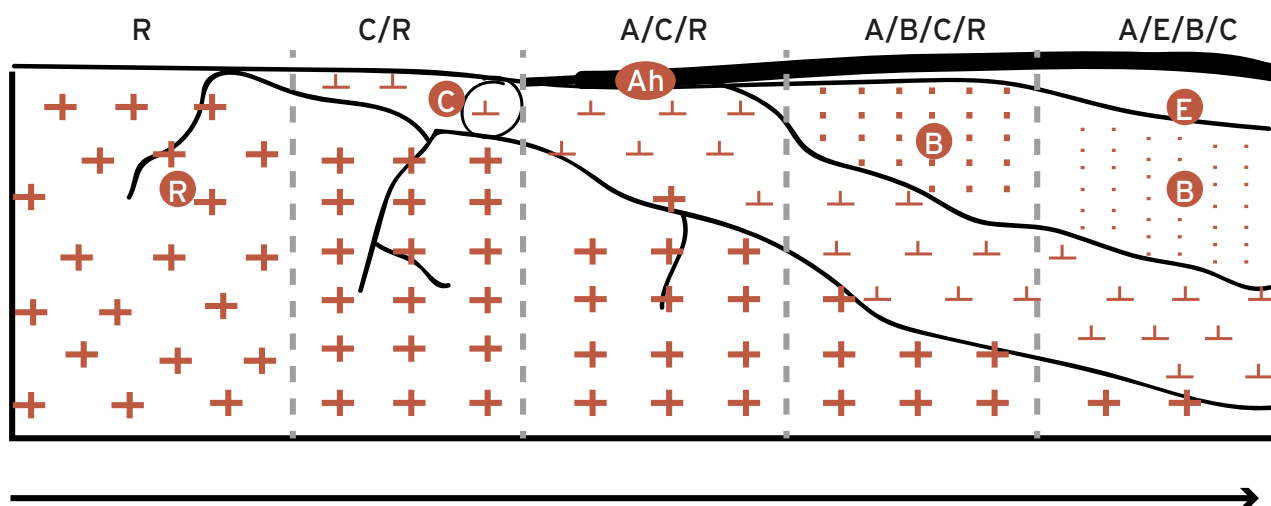
Vient ensuite, au sommet du sol, l'horizon Ah. C'est une couche sombre, provenant de l'incorporation progressive au sommet du sol des résidus provenant de la décomposition des litières sus-jacentes.

L'ensemble des litières et de l'horizon Ah est appelé forme d'humus.

➡ Puis on trouve un ou des horizons minéraux qui se distinguent de la roche-mère par leur couleur ou leur aspect. Les plus communs sont de type B, et sont le produit de l'altération de la roche-mère sous-jacente. Ils présentent une couleur brune due à la libération d'oxydes de fer. Dans la nomenclature internationale, ils sont désignés par le symbole Bw (w comme *weathering*, altération en anglais). Dans les sols les plus évolués, on observe un dédoublement entre un horizon supérieur – généralement plus clair – appauvri en certaines substances, appelé horizon E (E comme éluvial) et un horizon inférieur B plus coloré, enrichi en ces mêmes substances, appelé horizon illuvial. Un indice précise la nature des substances qui migrent de A et E vers B : Bt si ce sont des argiles (tone en allemand), Bs si c'est du fer et/ou de l'aluminium, Bh si ce sont des substances humiques, etc.

➡ L'horizon C apparaît en profondeur. C'est la roche-mère en voie d'altération, qui a donné naissance au sol. Il matérialise la transition avec le sous-sol, roche (dure ou meuble) non ou peu altérée.

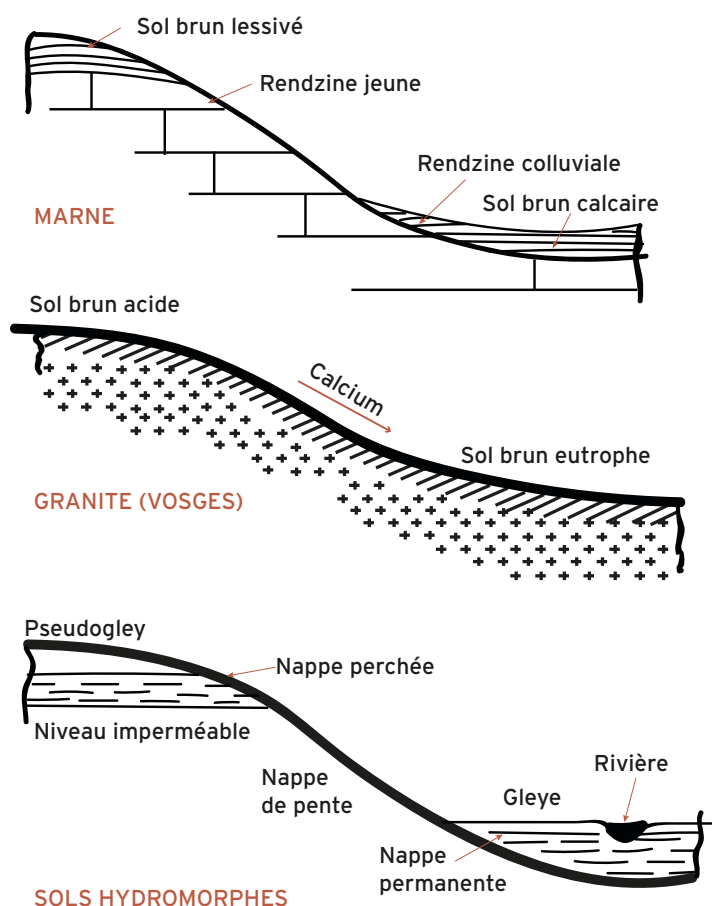
Figure 2 - Stades de la formation d'un sol



Evolution par différenciation croissante

- R** roche-mère compacte
- C** roche-mère altérée
- Ah** horizon organo minéral
- B** horizon d'altération, puis accumulation
- E** horizon appauvri-éluvial

Figure 3 - Toposéquences des sols.



La succession verticale des horizons observés (ex : Ah/B/C) définit le profil pédologique, qui résume sous une forme codifiée la morphologie du sol.

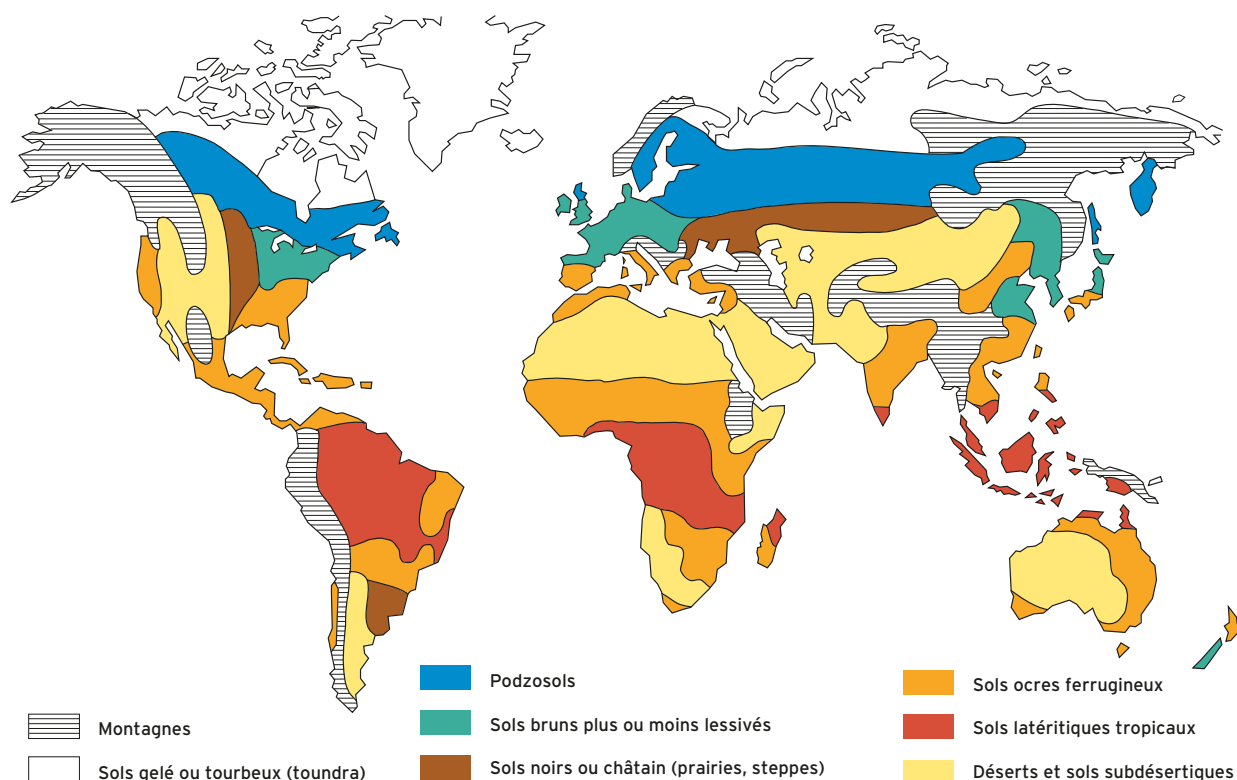
Ce que nous enseigne la morphologie du sol

La succession des horizons au sein du sol n'est pas le fruit du hasard. Elle est d'abord le résultat d'un mode d'altération et de transformation de la roche-mère qui a donné naissance au sol et que l'on dénomme pour cette raison « pédogénèse » (genèse du sol). Celle-ci s'accomplit dans la durée.

Il s'agit en fait d'une transformation physique et chimique de la roche sous l'influence des agents climatiques (alternances gel/dégel, dissolutions et transformations par les eaux météoriques), de la végétation (apport, puis incorporation de matière et d'acides organiques), enfin du relief (qui contrôle l'épaisseur du sol par les phénomènes d'érosion ou d'accumulation). Cette transformation comporte des libérations d'éléments provenant de l'altération des minéraux, qui souvent migrent ensuite vers la profondeur.

Elle passe par certains états qui pour les besoins de la théorie ont été bien séparés dans le temps sous la forme d'étapes ou stades (figure 2).

Figure 4 - Les grands types de sols mondiaux - d'après Duchaufour, 1988 et Pédro, 1985, simplifié.



C'est globalement un approfondissement. La succession d'horizons qui en résulte est une marque du degré d'évolution du sol.

La pédogénèse n'est cependant pas l'explication unique de la morphologie des sols. Quand la roche-mère est complexe, par exemple une succession de couches ou de lits de nature différente, cette hétérogénéité reste visible dans le sol, et se superpose à celle due à la pédogénèse, ou parfois la simule. Ainsi l'apparition d'un horizon argileux à mi-profondeur peut être le résultat d'un enrichissement en argile provenant des horizons supérieurs ou la conséquence d'une roche-mère initialement à deux couches (limon ou sable sur argile, par exemple).

La variété des sols et ses causes

La pédogénèse est gouvernée par plusieurs facteurs : le climat, la végétation, le relief. Les caractères d'un sol sont ainsi déterminés pour partie par les caractéristiques de la roche-mère (caractères hérités), pour l'autre partie par la pédogénèse. Toutefois, ces facteurs ne s'expriment pas à la même échelle.

À l'échelle locale ou régionale, où le climat est relativement homogène, c'est l'influence de la roche-mère et du relief qui prime (figure 3) pour déterminer la variété des sols. La cartographie exploite cette relation en s'appuyant

sur la géologie locale et les lois de la géomorphologie, pour prévoir ou systématiser les variations de la couverture pédologique.

À l'échelle des continents ou du globe, on observe au sein des grandes zones climatiques (figure 4) une convergence relative de l'évolution des sols sur des roches variées vers un type de sol dominant ou sol zonal. Dans chaque zone, à côté d'un sol zonal dominant, subsistent localement quelques exceptions : les sols intrazonaux quand l'influence de la roche (par exemple calcaire) ou du régime hydrique (sols très humides) prime sur celle du climat, et des sols azonaux trop jeunes pour être différenciés.

La convergence vers le type zonal est d'autant plus forte que le climat de la zone est extrême (climat tropical, boréal etc.). Sous les climats tempérés, elle est moins nette et les caractères de la roche-mère ressortent mieux, ce qui explique l'influence de la géologie dans la variété pédologique et son importance pour la cartographie des sols. ■

LA VIE CACHÉE DES SOLS

Une brochure présente les enjeux environnementaux et économiques liés à la biodiversité du sol, de manière pédagogique et illustrée. Rédigé, sous l'impulsion du Conseil Scientifique du programme GESSOL en 2010 à l'occasion de l'Année Internationale de la Biodiversité : www.gessol.fr/content/plaquette-la-vie-cach-e-des-sols

Estimer le réservoir en eau des sols

Quelles fonctions de pédotransfert le forestier doit-il utiliser ?



Par Christian Piedallu¹, Noémie Pousse², Ary Bruand^{3,4}, Lucie Dietz¹, et Julien Fiquet⁵

¹ Université de Lorraine, AgroParisTech, Inra, Silva

² ONF département RDI, pôle d'Avignon

³ Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), Université d'Orléans, CNRS/INSU, BRGM

⁴ INRA, Unité de recherche Science du Sol

⁵ CNPF-IDF

⁶ Piedallu *et al.*, 2011

La quantité d'eau dans le sol disponible pour les arbres est essentielle à estimer. Une étude récente⁶ compare différentes classes de pédotransfert (CPT) pour convertir les données de texture en capacité de rétention en eau. L'usage des classes de Al Majou est dorénavant recommandé pour les sols forestiers.

Évaluer la quantité d'eau disponible pour les arbres est une question cruciale pour les forestiers, mais son estimation est complexe et passe souvent par de nombreuses simplifications. **Le réservoir utile (RU)⁷ représente la quantité d'eau disponible pour la végétation qu'un sol peut stocker.** Il peut être rapidement estimé sur le terrain à l'aide d'un sondage le plus souvent réalisé à la pioche et à la tarière, afin de déterminer la texture et l'épaisseur des différents horizons prospectables, ainsi que le volume en cailloux du sol. Pour convertir les données de texture en capacité de rétention en eau, on utilise des fonctions de pédotransfert. On peut distinguer deux grandes catégories :

- les fonctions continues,
- les classes de pédotransfert (CPT).

Les fonctions continues permettent d'estimer la quantité d'eau via une équation utilisant diverses propriétés continues des sols (par exemple le pourcentage d'argile, la concentration en carbone organique), elles sont peu utilisées par le praticien, car elles nécessitent des analyses de sol. Les CPT sont beaucoup plus faciles d'accès, car elles permettent une correspondance directe entre des classes de texture, qui peuvent être estimées sur le terrain et une quantité d'eau disponible pour la végétation. Cependant, il est parfois difficile de s'y retrouver du fait du grand nombre de CPT disponibles. L'objectif de cet article est de faire le point sur les CPT utilisables pour le forestier, d'évaluer leur pertinence, et de les comparer en vue d'utiliser les plus efficaces pour l'estimation du RU.

Comparaison des différentes méthodes

Nous avons comparé différentes CPT afin de déterminer leur précision. Les plus anciennes utilisées ont été publiées par Jamagne *et al.* (1977), à partir d'une base de données de sols de l'Aisne, elles ont été abondamment mises en œuvre par les forestiers. Plus récemment une série de CPT ont été calculées par l'Inra d'Orléans, à partir d'un nombre croissant d'horizons de sols français⁸. En parallèle, différentes CPT ont été calibrées à l'échelle internationale par Schaap (2001, base Rosetta, 2 134 échantillons d'Amérique et d'Europe), Wosten (2001, base Hypres, 5521 échantillons en Europe), et plus récemment, Toth (2015, 18 537 échantillons en Europe). Nous avons également comparé les performances de ces CPT avec des fonctions continues plus sophistiquées, dans le but d'évaluer la pertinence d'une méthode relativement simple au regard d'une plus complexe. Les fonctions continues utilisées ont été établies par Vereecken (1989, développées en Belgique), Teepe (2003, développées en Allemagne, et les seules calibrées sur des sols forestiers), et Al Majou (2008, développées en France)⁹. Ces fonctions nécessitent toutes des analyses granulométriques, et parfois de teneur de matière organique, et de densité apparente.

Pour évaluer la performance des 7 CPT et des 3 fonctions continues testées, nous avons utilisé 227 horizons extraits de 63 profils de sols non utilisés dans la calibration de fonctions de pédotransfert, pour lesquels des mesures

⁷ Le RU est synonyme de Réserve Utile Maximale des sols (RUM).

⁸ Bruand *et al.*, 2002 : 219 horizons, Bruand *et al.*, 2004 : 302 horizons, Al Majou *et al.*, 2008 : 320 horizons).

⁹ Les références des bases de données internationales utilisées sont consultables dans l'article Piedallu *et al.*, 2011.



S. Gaudin © CNPF

de teneur en eau ont été faites en laboratoire (base de données SOLHYDRO de l'Inra et données de thèse de François Bigorre). Parmi ces horizons, 95 sont forestiers. Les teneurs en eau estimées à l'aide des différentes fonctions de pédotransfert et mesurées en laboratoire ont été comparées pour chaque horizon¹⁰. Le coefficient de détermination (R^2) a été calculé afin de déterminer la qualité de la prédiction, ainsi que l'erreur quadratique moyenne (EQM). Plus le R^2 s'approche de 1 et plus l'EQM est basse, plus la prédiction est bonne.

La comparaison entre les valeurs prédites et les valeurs mesurées permet de dégager un certain nombre d'enseignements (Figure 1) :

- ➡ on observe que les fonctions continues ne sont globalement pas plus performantes que les CPT, malgré le fait qu'elles soient plus sophistiquées ;
- ➡ les CPT de Jamagne traditionnellement utilisées ont des performances parmi les plus mauvaises ;
- ➡ les CPT calibrées à l'échelle continentale (Rosetta, Hypres, Toth) ne donnent pas de bonnes performances non plus ;
- ➡ les meilleurs résultats sont obtenus par les CPT développées par l'Inra d'Orléans, celles d'Al Majou 2008 et de Bruand 2004 donnant des performances proches.

Les conclusions sont similaires lorsqu'on examine les performances en milieu forestier uniquement, les CPT d'Al Majou 2008 et de Bruand 2004 étant là encore les plus proches

¹⁰ Pour les CPT distinguant l'horizon A des autres, les 10 premiers centimètres du profil ont été considérés comme correspondant à l'horizon A.

Le calcul du réservoir utile

La quantité maximale d'eau qu'un sol peut stocker est calculée en fonction du volume de terre prospectable par les racines et de la capacité du sol à stocker et à restituer l'eau aux plantes. Celle-ci est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Elle est déterminée par la différence entre « l'humidité à la capacité au champ » et au « point de flétrissement permanent ». L'humidité à la capacité au champ est l'humidité d'un sol gorgé d'eau ayant ressuyé pendant 48 heures, l'eau étant considérée comme non accessible à la végétation avant le ressuyage pour cause de transfert trop rapide à travers le sol. Le point de flétrissement permanent représente le seuil à partir duquel les plantes ne peuvent plus prélever l'eau (les racines devraient développer des suctions supérieures à 15 bars pour accéder à l'eau disponible). Les pédologues utilisent une unité particulière pour caractériser la force avec laquelle le sol retient l'eau, le pF, dont la valeur augmente quand la teneur en eau diminue. Dans cette étude, les valeurs retenues sont pF 2 pour la capacité au champ et pF 4,2 pour le point de flétrissement permanent. Les CPT fournissent la teneur en eau contenue entre ces deux limites pour chaque classe de texture. Connaissant la charge en cailloux (CC_i) et l'épaisseur (E_{p_i}) de chaque horizon i , il est ainsi possible de calculer le RU du profil (Baize et Jabiol, 1995). Pour que l'estimation soit représentative à l'échelle de la placette, il est également recommandé d'intégrer la proportion d'affleurements rocheux (AFroc) de surface (ce qui compense le fait que l'opérateur ne creuse pas sa fosse au hasard mais souvent là où il y a le moins de cailloux). La formule utilisée est ainsi :

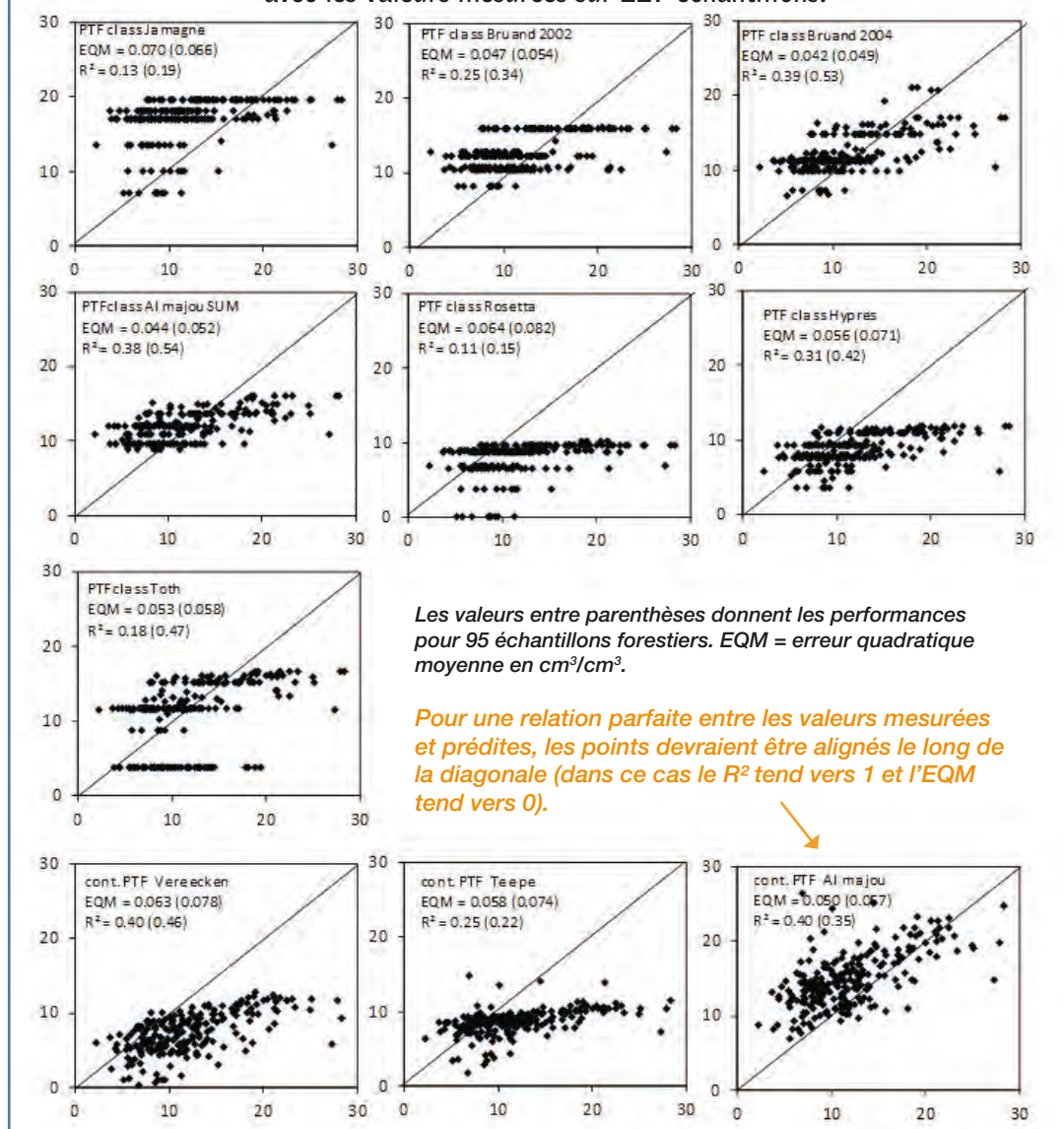
$$RU = (1 - AF_{roc})(1 - CC) \sum_{i=1}^n (\theta_{2,0}^i - \theta_{4,2}^i) \times E_{p_i}$$

- RU = réservoir utilisable du profil de sol en mm ;
- AFroc = proportion des affleurements rocheux à la surface du sol relevés sur la placette, variant entre 0 et 1. Si ceux-ci ne sont pas relevés, appliquer uniquement le reste de la formule ;
- CC_i = proportion de charge en cailloux de l'horizon i relevée sur le profil, variant entre 0 et 1 ;
- $\theta_{2,0}^i - \theta_{4,2}^i$ = teneur en eau entre le **point de flétrissement permanent** et la **capacité au champ** (en mm d'eau par cm de sol, voir tableau 1, page 31) ;
- E_{p_i} = épaisseur de l'horizon i en cm.

¹ Si la charge en cailloux est relevée une seule fois pour l'ensemble du profil et non par horizon, la formule devient alors :

$$RU = (1 - AF_{roc})(1 - CC) \sum_{i=1}^n (\theta_{2,0}^i - \theta_{4,2}^i) \times E_{p_i}$$

Figure 1 - Comparaison des teneurs en eau volumiques (en %) prédites par 7 CPT (trois lignes du haut) et 3 fonctions continues (ligne du bas) avec les valeurs mesurées sur 227 échantillons.



des valeurs de notre jeu de validation. Il est à noter que les fonctions de Teepe, qui sont les seules calibrées sur des échantillons de sols forestiers, ne donnent pas de bons résultats dans nos tests.

Privilégier les classes de pédotransfert d'Al Majou 2008

Face à ces résultats, nous recommandons aux forestiers qui veulent estimer un RU d'utiliser les CPT d'Al Majou 2008, qui ont l'avantage par rapport à celles de Bruand 2004 de fournir plus facilement des valeurs pour toutes les classes de texture du triangle de texture de Jamagne, qui est communément utilisé en France. Le *tableau 1* récapitule les valeurs à utiliser pour les 15 classes du triangle de Jamagne (*Figure 2*).

Les données nécessaires à l'estimation du RU étant présentes dans la base de l'inventaire forestier de l'IGN, les valeurs à utiliser sont également fournies selon leur nomenclature

(qui est issue d'un regroupement en 9 classes du triangle de Jamagne).

De nombreuses sources d'imprécisions existent lors de l'estimation du RU. L'une d'entre elles réside dans l'utilisation de classes de texture pour estimer le volume d'eau potentiellement disponible. Nos résultats montrent que des méthodes simples basées sur une table de correspondance texture/capacité de rétention, donnent des valeurs correctes au regard de fonctions plus complexes. Cependant, ces valeurs restent empreintes de nombreuses imprécisions, comme le montre la comparaison avec les mesures de notre jeu de validation. Ainsi, près de la moitié des valeurs prédites ont plus de 20 % d'erreurs par rapport aux mesures. Notre comparaison démontre également que les CPT séparant l'horizon A des horizons EBC¹¹ donnent les meilleures performances. C'est le cas des CPT d'Al Majou 2008 qui sont à privilégier aux dépens des CPT de Jamagne qui sont encore communément utilisées. Cela s'explique

¹¹ Voir l'article de François Charnet page 24 dans ce dossier pour la définition de ces horizons.

Figure 2 - Triangle des textures (Jamagne) regroupement selon les 9 classes de texture, adaptation de celles utilisées dans l'inventaire de l'IGN

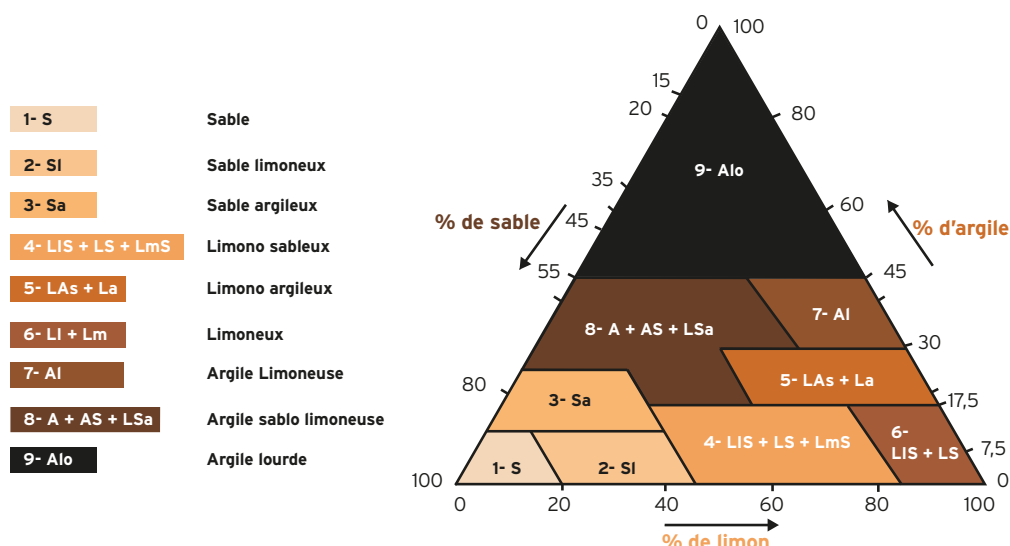


Tableau 1 - Capacité de rétention en eau (en mm d'eau/cm de sol) des classes de pédotransfert de AI Majou 2008

A) Selon les 15 classes de texture du triangle de Jamagne

Classes de texture Jamagne	Dénomination	Teneur en eau horizon A	Teneur en eau horizon EBC
S	Sable	1,07	0,88
SI	Sable limoneux	1,28	1,09
Sa	Sable argileux	1,28	1,09
LIS	Limon léger sableux	1,50	1,31
LS	Limon sableux	1,50	1,31
LmS	Limon moyen sableux	1,50	1,31
LSa	Limon sablo argileux	1,50	1,31
LAs	Limon argilo sableux	1,50	1,31
LI	Limon léger	1,69	1,40
Lm	Limon moyen	1,69	1,40
La	Limon argileux	1,69	1,40
AS	Argile sableuse	1,53	1,24
A	Argile	1,53	1,24
AI	Argile limoneuse	1,35	1,20
Alo	Argile lourde	1,38	0,95

Les teneurs en eau sont calculées entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent ($\theta_{2,0}^L - \theta_{4,2}^L$)

Horizon A :
horizon de surface contenant à la fois de la matière organique et de la matière minérale. Quand son épaisseur n'est pas mesurée, on peut considérer que les 10 premiers cm du profil font partie de l'horizon A.

Horizons EBC :
horizons minéraux de profondeur.

B) Selon 9 classes de texture, adaptation de celles utilisées dans l'inventaire forestier de l'IGN

Classes de texture	Dénomination	Correspondance avec les classes de texture Jamagne	Teneur en eau horizon A	Teneur en eau horizons EBC
1	Sable	S	1,07	0,88
2	Sable limoneux	SI	1,28	1,09
3	Sable argileux	Sa	1,28	1,09
4	Limon sableux	LIS + LS + LmS	1,50	1,31
5	Limon argileux	LAs + La	1,60	1,36
6	Limoneux	LI + Lm	1,69	1,40
7	Argile limoneuse	AI	1,36	1,19
8	Argile sablo limoneuse	A + AS + LSa	1,35	1,20
9	Argile lourde	Alo	1,38	0,95

Adaptation des classes de texture utilisées par l'IGN. Afin de contrôler des biais systématiques d'estimation des textures, le regroupement en 9 classes de l'IGN a été modifié : les classes Limon sablo argileux et Argile du triangle de Jamagne intègrent la classe 8.

L'estimation de l'eau disponible pour les plantes est un enjeu important pour le forestier. Les classes de pédotransfert (CPT) sont un moyen simple d'estimer la teneur en eau d'un horizon, et de calculer le réservoir utile en eau (RU) des sols à partir d'un sondage de terrain. Face à la multiplicité des CPT disponibles, leurs performances sont comparées afin d'évaluer les plus pertinentes pour

la France. Les estimations par les CPT de Jamagne traditionnellement utilisées s'avèrent moins performantes que celles développées par Al Majou en 2008, dont l'usage est maintenant recommandé.

Mots clés : Réservoir utile (RU), eau du sol, bilan hydrique, classes de pédotransfert, potentialités forestières.

par le fait que la base de données utilisée par Jamagne était constituée d'échantillons remaniés prélevés uniquement dans le très agricole département de l'Aisne, alors que le jeu de données utilisé par Al Majou 2008 est plus représentatif du territoire national, et a été prélevé avec des techniques non destructrices. Enfin, la performance moindre des CPT issues de bases internationales est en accord avec divers travaux montrant que les spécificités locales des sols sont moins bien prises en compte lorsque les jeux de données sont collectés sur des emprises trop larges.

L'utilisation des CPT ne représente pas la seule source d'incertitude lors de l'estimation du RU du sol, la détermination de la charge en cailloux, l'estimation au toucher des textures et surtout de la profondeur de prospection représentant des sources importantes d'erreurs potentielles. En effet, le calcul du RU sur moins d'un mètre de profondeur, comme il est classiquement pratiqué, sous-estime le plus souvent le réservoir disponible pour les plantes, qui peuvent bénéficier de l'humidité disponible à l'échelle de tout leur système racinaire, qui peut s'étendre sur plusieurs mètres de profondeur dans le cas des arbres. En outre, lorsque le substrat est rocheux, l'emplacement de la fosse peut ne pas être représentatif, et il est recommandé dans ce cas de réaliser plusieurs sondages voisins en complément de l'intégration des affleurements rocheux de surface afin de mieux prendre en compte la variabilité locale. Malgré toutes ces limites, il a été démontré que lorsque les estimations de RU faites sur le terrain à l'aide de CPT étaient réalisées selon les méthodes décrites, elles étaient un indicateur plus pertinent que la seule profondeur du sol pour déterminer les potentialités forestières. En effet, si les valeurs estimées de RU présentent une incertitude

certaine, elles permettent néanmoins de discriminer des grandes catégories de sols en fonction de leur capacité de rétention en eau, information fondamentale pour les forestiers afin d'évaluer les potentialités et les risques. Enfin, il faut noter que le RU décrit uniquement la taille du réservoir, mais en aucun cas son niveau de remplissage. Aussi, **il est recommandé de calculer un bilan hydrique incluant les apports et les départs en eau à un pas de temps donné, afin d'estimer l'eau réellement disponible pour les plantes.**

Conclusion

Une bonne estimation de l'humidité des sols est fondamentale pour le choix d'essences adaptées, particulièrement dans le contexte du changement climatique actuel, qui génère localement de nouvelles contraintes vis-à-vis de la ressource en eau. Son estimation à l'aide de CPT est facilitée par le faible coût des données à collecter. L'estimation au toucher des textures, l'estimation visuelle de la profondeur des principaux horizons et de la charge en cailloux sur un profil d'un mètre de profondeur prend environ 10-15 minutes en moyenne en combinant pioche et tarière¹². De ce fait, il est possible de multiplier les relevés à l'échelle de la parcelle ou de la forêt dans le but de bien comprendre la variabilité spatiale des RU qui peut être importante à des échelles locales. Pour des emprises plus vastes, les données de l'inventaire forestier de l'IGN permettent de calculer le RU pour plusieurs dizaines de milliers de placettes réparties à l'échelle de la France. Ces jeux de données disponibles à différentes échelles peuvent ensuite être utilisés pour réaliser des cartes de RU ou, une fois combinées à des données climatiques, des cartes de bilan hydrique¹³, qui sont des outils d'aide à la décision précieux pour les praticiens. ■

¹² Ce temps peut être plus important sur un sol présentant une forte charge en cailloux.

¹³ Des cartes de RU ou de bilan en eau élaborées à l'échelle nationale sont disponibles sur le portail SILVAE : <http://silvae.agroparistech.fr/home/>

Remerciements

Nous remercions le GIP ECOFOR qui a financé ce travail, François Bigorre qui a fourni des mesures, Bernard Jabiol, Jean-Claude Pierrat et Dominique Arrouays pour leur assistance.

Bibliographie

- Piedallu C., Gégout J.-C., Bruand A. & Seynave I., 2011. *Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands*. Geoderma, 160(3): 355-366.
- Al Majou H., Bruand A., Duval O., Le Bas C. & Vautier A., 2008. *Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon*. Soil Use and Management, 24(4): 383-391.
- Baize D. & Jabiol B., 1995. Guide pour la description des sols. Techniques et pratiques. Inra, Paris, 375 p.
- Bruand A., Duval O. & Cousin I., 2004. *Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO : une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture, et sa densité apparente*. Étude et Gestion des Sols, 11(3): 323-332.
- Bruand A. et al., 2002. *Estimation des propriétés de rétention en eau des sols : utilisation de classe de pédotransfert après stratifications texturale et texturo-structurale*. Étude et gestion des sols, 9(2): 105-125.
- Jamagne M., Betremieux R., Begon J.C. & Mori A., 1977. *Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols*. agro - Inra, 127: 627-641.

Pratic'Sols, guide sur la praticabilité des sols forestiers

Par Didier Pischedda*, ONF

 8 min

*Département
Commercial Bois - DCBS
Expert national
exploitation forestière et
logistique
2, avenue de Saint-
Mandé
75570 Paris Cedex 12
didier.pischedda@onf.fr

La Fédération nationale entrepreneurs des territoires (FNEDT) et l'Office national des forêts (ONF) publient le guide Pratic'Sols dédié aux professionnels forestiers (propriétaires et gestionnaires, entrepreneurs de travaux forestiers, donneurs d'ordre). Une méthodologie décisionnelle est complétée par 23 recommandations concrètes de protection des sols, privilégiant la prévention et l'information.

Le contexte

L'enjeu de la protection des sols forestiers a été mis en exergue suite aux deux tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999. En effet, près de 140 millions de m³ (ou l'équivalent de 3 récoltes annuelles) ont été renversés ou cassés. À la demande des acteurs de la filière, la sortie des bois s'est effectuée dès le mois de janvier et sur toute l'année 2000 où le printemps avait été particulièrement pluvieux. Les impacts parfois importants sur les parcelles forestières avaient alors ému de nombreux forestiers de terrain. Des questions remontaient alors auprès des organismes de R & D et des constructeurs de matériels concernant l'organisation des chantiers et le machinisme forestier.

À la demande de l'ONF, l'Inra lança une étude bibliographique sur les effets de l'exploitation forestière sur les sols forestiers. Des articles du monde entier furent étudiés, avec toutefois des difficultés à remettre les résultats dans un contexte forestier français. En 2002, l'idée de tester des systèmes alternatifs fut proposée au ministère de l'Agriculture pour une série de tests grandeur nature. Puis le besoin de vulgarisation fut aussi rapidement identifié pour toucher le plus grand nombre d'acteurs. Le guide PROSOL venait ainsi de voir le jour via un travail pluridisciplinaire inédit entre pédologues, forestiers et entrepreneurs. Ce travail fut de longue haleine puisque le guide Prosol ne sortit qu'en 2009.



Les résultats de ces travaux ont permis de définir la sensibilité des sols forestiers au tassement en fonction de leur texture et de l'évolution de leur teneur en eau. Il devenait alors possible de cartographier la sensibilité potentielle des sols. Les évolutions de leur teneur en eau étant principalement liées à la pluviométrie.

Un autre résultat important fut le fait de reconnaître que le tassement d'un sol peut avoir lieu suite à seulement quelques passages de machines forestières (80 à 90 % du tassement des horizons de surface du sol ont lieu entre le premier et le troisième passage d'engins). Restreindre la circulation des machines via un réseau de cloisonnements devenait ainsi un moyen de préserver le sol de la parcelle. Ces cloisonnements devant être suffisamment larges pour les machines (4 mètres) et espacés de telle manière à ce que les bois abattus soient préhensibles par les machines (un entraxe de 20 m est alors recommandé).

Ce guide fut rédigé pour toucher en premier lieu les gestionnaires forestiers, ceux-là même qui sont en mesure d'installer un réseau de cloisonnements d'exploitation. Restait à faire comprendre aux entreprises de travaux forestiers et acheteurs de bois les raisons de ces choix et surtout comment gérer les chantiers lorsque la pluviométrie rend le sol de plus en plus sensible. Après plusieurs hivers doux et pluvieux (2011 et 2012 notamment), des arrêts de chantier ont dû être imposés du fait d'une dégradation trop importante des sols (orniérage, tassement,...). Ces arrêts ont eu comme conséquence une baisse d'activité, des coûts de déplacement d'engins des ETF et parfois des ruptures d'approvisionnement d'unités de transformation de bois. Cette situation a conduit l'ONF et la FNEDT à s'engager dans la publication d'un guide de bonnes pratiques pour la mobilisation des bois avec pour objectif une meilleure gestion des espaces forestiers. Ce guide est plus concis, diffusé plus largement, et intègre l'impact du nombre de passages d'engins.

La méthode

Un groupe de travail a été constitué de personnes de l'ONF¹, de la FNEDT², du FCBA³ et du CNPF-IDF et de trois entrepreneurs de travaux forestiers avec pour mission de rédiger un guide technique à destination des propriétaires-gestionnaires, des acheteurs de bois et des opérateurs conducteurs d'engins forestiers dont les objectifs sont de :

1. vulgariser les connaissances actuelles sur l'impact sur le tassement des sols par les engins ;
2. rappeler les éléments nécessaires aux bonnes conditions de débardage ;
3. identifier les bonnes pratiques d'utilisation et de gestion des engins et de leurs équipements ;

4. apporter des éléments de compréhension et de décisions aux acteurs propriétaires-gestionnaires et opérateurs conducteurs d'engins forestiers ;

5. favoriser les échanges entre acteurs sur le terrain.

Les premiers résultats rédactionnels ont été partagés lors de 3 ateliers en région Bourgogne, Lorraine et Centre, où ont pu participer à la fois des gestionnaires et des entrepreneurs. Il fallait vérifier que le texte et les propositions de recommandations soient bien compris par l'ensemble des publics visés.

Enfin, un comité de suivi constitué des organismes suivants a revu le texte : Fédération nationale du bois, Fédération nationale des communes forestières, France nature environnement, Forêt privée française, GIP écologie forestière, ministères de l'Agriculture et de la Transition écologique et solidaire, Société forestière de la Caisse des dépôts et consignations, Union des coopératives forestières françaises.

Pourquoi parler de praticabilité ?

Tout d'abord, les sylvicultures mises en place ces dernières décennies sont souvent très dynamiques. Les passages en coupes sont donc assez rapprochés dans le temps (tous les 6 à 10 ans en forêts publiques). Il est donc important de bien ancrer le sujet du tassement par les engins dans cette perspective temporelle. D'autres part, la mobilisation du bois se pratique toute l'année même sur les sols argilo-limoneux où l'abattage et le débardage des bois ont lieu « en feuille », car c'est la période où les sols sont les moins sensibles.

Enfin la gestion des stocks de bois s'apparente de plus en plus à une gestion en flux tendu.

Ainsi, le sujet est non seulement la sensibilité des sols, mais surtout leur praticabilité⁴ par des engins forestiers à court terme (lors d'un chantier) mais aussi à long terme (les chantiers se succédant assez rapidement). Les réflexions doivent donc bien être à l'échelle du cycle forestier.

L'enjeu majeur est de s'efforcer de rester sur les cloisonnements et de les maintenir accessibles, vu les tonnages cumulatifs tout au long de la vie d'un peuplement.

Il fallait donc définir une notion de seuil d'alerte à partir duquel la praticabilité des cloisonnements est remise en question.

¹ Office national des forêts.

² Fédération nationale des entrepreneurs des territoires.

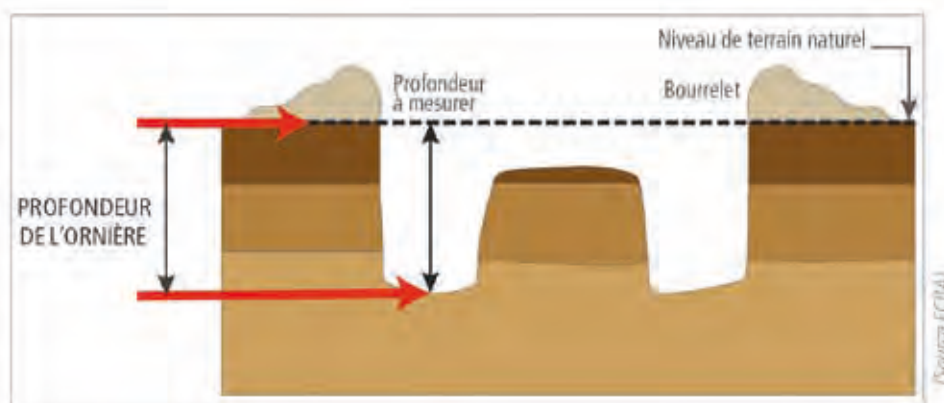
³ Institut technologique forêt cellulose bois construction ameublement.

⁴ nuance entre sensibilité et praticabilité des sols

Mesure de la profondeur d'une ornière

La hauteur d'une ornière est mesurée :

- entre le niveau le plus bas observé à un endroit donné
- et le niveau du terrain naturel (sans bourrelet)



Recommandations

Afin d'améliorer leur organisation du travail, ce guide propose aux conducteurs d'engins et aux gestionnaires de chantier un **schéma de décision des actions** à mettre en place en fonction des observations de terrain et des seuils d'alerte définis **avant le début du chantier**.

Ces recommandations ont été réfléchies pour être le plus pragmatiques et réalistes possibles et sont présentées de manière chronologique :

- dans la gestion forestière ;
- avant le lancement d'un chantier ;
- pendant le chantier ;
- après le chantier ;
- dans l'entreprise de travaux forestiers.

Pour chaque recommandation, les acteurs concernés sont identifiés :



Les propriétaires forestiers/gestionnaires ;



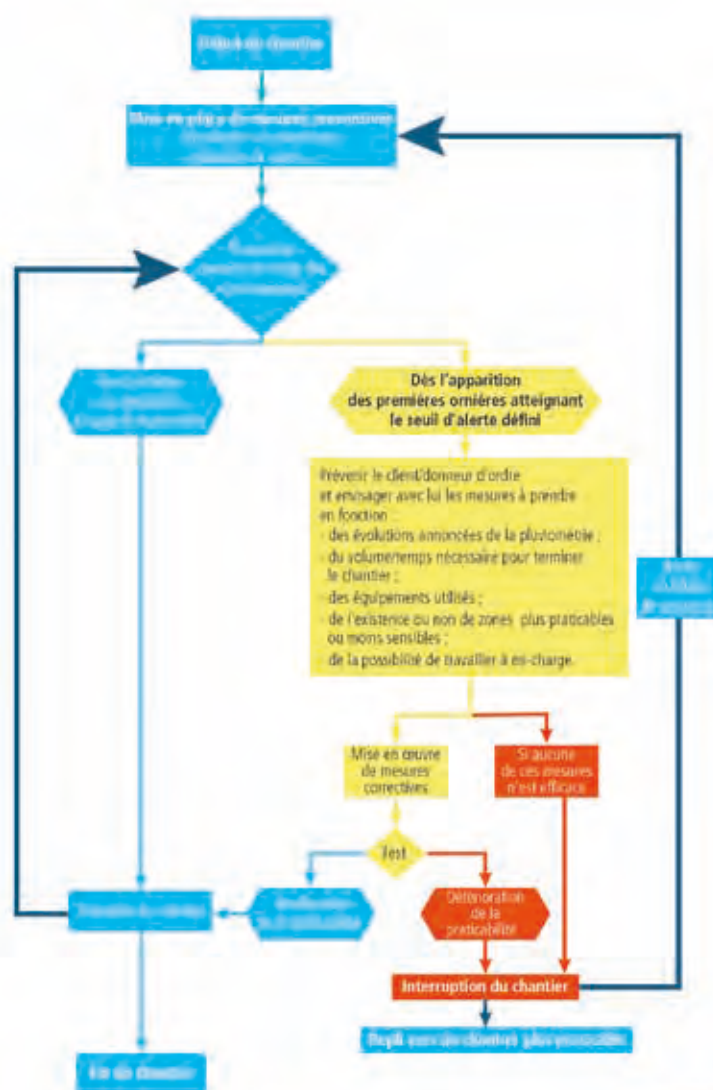
Les entreprises de travaux forestiers (ETF) ;



Les donneurs d'ordres de ces ETF (acheteurs de bois, exploitants forestiers, coopératives, experts forestiers, ONF).

Un seuil d'alerte est recommandé en fonction du type de cloisonnement (en effet plus l'on se rapproche de la place de dépôt, plus il y aura de circulation et donc de risques d'impacts) sachant que c'est avant le début du chantier que celui-ci doit être explicité à l'entreprise. Ainsi, dès l'apparition des premières ornières de plus de 20 cm sur les cloisonnements d'exploitation et 30 cm sur le cloisonnement

Logigramme du dialogue à mettre en place entre forestier/gestionnaire et entreprise de travaux forestiers



principal, l'entreprise doit contacter son client pour définir les mesures à prendre. Un logigramme (page 35) est proposé pour illustrer le dialogue à mettre en place entre forestier/gestionnaire et entreprise de travaux forestiers.

La troisième partie du guide donne des éléments de compréhension aux lecteurs qui veulent en savoir plus en définissant notamment un certain nombre de notions sur les impacts aux sols et la manière de mesurer une ornière, améliorer la portance d'un sol et sur la remise en état, jusqu'au machinisme forestiers (Comment diminuer la pression au sol des machines ? Qu'est-ce qu'un tracks ? Quelle différence entre un débusqueur à grappin ou à grue ? Et un focus sur le débardage par câbles aériens ou par traction animale).

En guise de conclusion

Ce guide permet de disposer d'éléments concrets à partager entre les gestionnaires forestiers, les acheteurs de bois et les entreprises de travaux forestiers.

Les seuils définis présupposent toutefois de l'existence d'un réseau de cloisonnement. Ainsi, au cas par cas, il peut être accepté qu'un porteur sorte légèrement en épi pour charger des bois au lieu de diviser par deux un réseau trop lâche.

Ce guide a été édité à 10000 exemplaires et distribué via les partenaires du comité de suivi. Il est aussi disponible sur les sites internet de l'ONF, de la FNEDT et du FCBA :

• http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++5f39/@@display_media.html

• <https://www.fnedt.org/exploitation-forestiere>

• <http://www.fcba.fr/actualite/praticsols-guide-sur-la-praticabilite-des-parcelles-forestieres>

« Ce guide *Pratic'Sols* est une réelle nouveauté : il informe chaque catégorie de professionnels des bonnes pratiques à instaurer avant, pendant et après les chantiers forestiers pour maintenir l'état des sols, afin de continuer à entretenir les forêts et récolter les bois dans de bonnes conditions ».

Gérard Napias, président de la FNEDT.

« Une des mesures clefs est la mise en place de voies de circulation et de réseaux de cloisonnement pour desservir les parcelles tout en limitant le tassement des sols ».

Christian Dubreuil, directeur général de l'ONF.

Cette action a bénéficié du financement de l'Interprofession nationale France Bois Forêt. ■

Bibliographie

■ Lamandé M., Ranger J., Lefèvre Y., 2005. *Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols forestiers*. Paris ONF. Direction technique - Coll. Les Dossiers forestiers n° 15, 131 pages.

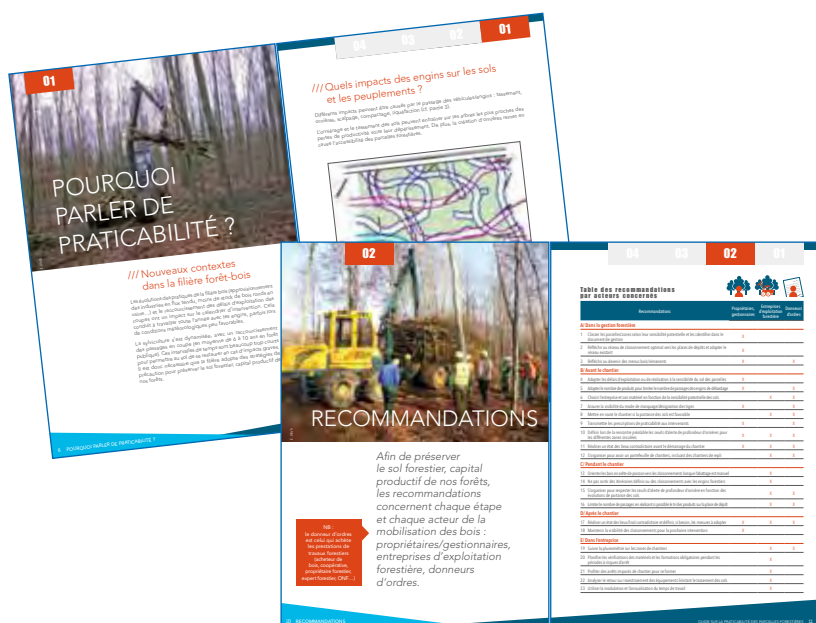
■ ONF, 2005. *Dossier : Conséquences des tassements du sol dus à l'exploitation forestière*. Rendez-Vous techniques de l'ONF, n° 8, pages 23-51.

■ ONF, 2008. *Dossier : Exploitation respectueuse des sols*. Rendez-Vous techniques de l'ONF, n° 19, pages 23-54.

■ Pischedda D. (coord.), 2009. *Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL » - Guide pratique*. Édition ONF- FCBA, ISBN 978-2-84207-334-3, 110 pages.

■ Pischedda D. et Helou TE., 2017. *PRATIC'SOLS - Guide sur la praticabilité des parcelles forestières*. Édition ONF - FNEDT, ISBN 978-2-84207-500-10, 46 pages.

■ Ulrich E. (coord.), 2017. *Dossier : Tassement, orniérage, machinisme forestier et organisation des exploitations en forêts feuillues de plaine et collines*. Rendez-Vous techniques de l'ONF, n° 54, pages 23-74.



Les recommandations déjà mises en pratique par Forêts & bois de l'Est



Entretien avec Alain Jacquet, directeur de la coopérative Forêts & bois de l'Est par Nathalie Maréchal, CNPF-IDF

Vous avez connaissance du nouveau guide Pratic'sols, comment l'utilisez-vous ?

Notre structure nationale UCFF¹ s'est impliquée dans la rédaction de ce guide, car cette problématique du respect des sols est sensible et essentielle. C'est un bon recueil de recommandations pratiques et opérationnelles, donc nous le diffusons largement. Nous réfléchissons à le décliner en fiches pratiques utilisables sur le terrain pour une meilleure appropriation par les personnes qui disposent de peu de temps comme nos ETF ou techniciens. De tels supports pédagogiques et synthétiques sont toujours utiles pour perfectionner nos méthodes et ce thème est intégré dans nos formations en interne.

L'organisation de l'exploitation est un préalable important pour limiter les voies de circulation au sein des parcelles.



© Forêts & Bois de l'Est

Quel est le niveau de sensibilisation de vos techniciens sur ce sujet ?

Nos techniciens sont déjà vraiment sensibilisés, car notre démarche qualité ISO 14001 et notre certification PEFC² nous y engagent depuis 2003. Nos procédures internes de contrôle qualité gèrent ce point d'attention. Bien sûr, ces démarches sont toujours insuffisantes et perfectibles. Cependant nous sommes particulièrement vigilants à diffuser et marteler ces bonnes pratiques. Nous veillons à ce que les impacts sur le milieu, le peuplement, la biodiversité, le sol soient réduits. La certification ISO 9001, que nous devrions obtenir en septembre 2018, devra mesurer le degré de satisfaction de nos clients – adhérents sur nos interventions, ainsi que l'évaluation de nos sous-traitants. Cela en fera un outil supplémentaire adapté pour évaluer nos actions et mettre en œuvre de nouvelles actions de progrès.

¹ Union des coopératives forestières françaises

² Voir l'article de S. Marquesi, *La préservation des sols forestiers au cœur de PEFC*, Forêt-entreprise n° 228, p. 63.

Parmi les recommandations du guide Pratic'sols, lesquelles appliquez-vous principalement ?

La mise en place de cloisonnements est une orientation ancienne prise par la coopérative et incluse dans la rédaction des documents de gestion et dans le programme de coupes et travaux. Les cloisonnements sont installés progressivement dans les massifs de nos adhérents, préférentiellement en amont d'un chantier d'exploitation dans le cas de peuplement feuillus ; pour les résineux, ils sont réalisés au moment de l'exploitation.

Le classement de sensibilité du sol dans un massif est plus compliqué, car les coûts de réalisation d'une cartographie sont

conséquents : ils nécessitent des relevés de terrain (2 à 4/ha) analogues à ceux de l'établissement d'une cartographie de stations. Les propriétaires forestiers ne sont pas enclins à supporter ce surcoût d'environ 25 à 30 %, même lors de la création de documents de gestion durable. L'intérêt ne leur semble pas à la hauteur du coût d'investissement.

Cependant, notre gestion s'inscrit dans la durée. Nous avons une connaissance précise des massifs de nos adhérents, avec une bonne appréhension des risques ou des précautions à prendre. Lors de l'installation d'un chantier d'exploitation, l'ensemble du dispositif de protection des sols est défini avec des instructions précises et un contrôle du bon respect de celles-ci. Par exemple, les zones humides ou un chemin peu praticable doivent être indiqués dans les documents préalables. Notre démarche ISO implique aussi le respect des zonages environnementaux, qui seront également indiqués sur la fiche remise aux sous-traitants. Chaque année, nous réalisons un audit de chantiers aléatoire pour vérifier le respect des consignes, notamment l'indication sur les fiches de chantier de ces restrictions, ainsi que leur bonne prise en compte sur le terrain. La certification nous oblige à ces mesures de contrôle et de correction.

La première intervention dans cette forêt, dont la gestion a été reprise par Forêts & Bois de l'Est, a été d'installer un réseau de cloisonnements par où le débardage de la coupe d'amélioration a pu être réalisée avec un impact limité sur les sols.

Lors de chantiers d'exploitation, votre choix de prestataire est-il influencé par son équipement ?

Notre démarche de certification inclura une évaluation permanente des sous-traitants, par un contrôle de la bonne réalisation des chantiers en fonction de commandes précises. Cela nous permettra d'identifier et de privilégier ceux qui respectent les règles. Notre politique de relation de confiance et de partenariat avec nos sous-traitants oriente déjà le choix des entreprises que nous accompagnons, afin de leur garantir un flux de travail nécessaire à leur équilibre économique. Le tissu des entreprises dans le Nord-Est est encore assez dense. Notre modèle économique est basé principalement sur une part de sous-traitance, il est fondamental de disposer d'un large panel d'entreprises. Une partie de nos moyens est interne, notamment pour la partie sylviculture avec nos propres salariés pour la partie plantation et entretien. Nos ouvriers forestiers réalisent environ 50 % de cette activité. Nous disposons de trois bûcherons qui réalisent une partie du volume des 450 000 m³ commercialisés. Pour développer la production de bois énergie, nous avons créé en 2009 une filiale de travaux mécanisés disposant de 7 pelles à cisaille et 4 porteurs. Notre partenariat avec un autre actionnaire, *ONF Énergie*, a permis l'investissement dans du matériel limitant l'impact sur le sol comme des tracks en synthétiques, ou des engins avec des pneus basse pression. Nous sommes en train de diversifier l'activité de cette filiale. Deux équipes assureront prochainement environ 30 à 50 % de l'activité d'abattage et débardage de peupliers dans notre secteur de Champagne-Ardenne. Là encore, le matériel sera adapté pour limiter les impacts aux sols souvent peu portants des peupleraies.

Notre objectif est de rendre le chantier sans dégradations, qui engendrent un surcoût. Bien sûr, cette prestation est logiquement plus chère, en raison de précautions supérieures. Nous garantissons un volume suffisant en soutien du *business plan* de cette filiale s'équipant du matériel nécessaire pour le respect du sol. Sa prestation a augmenté d'un euro par tonne débardée. Cette hausse est répercutée en partie seulement au propriétaire, car nous prenons en charge les gains d'organisation par la baisse de non-conformités. Nos procédures de suivi qualité estiment le surcoût lié à la non-conformité à 0,50 ct d'€/t (hors impacts de la dégradation sur la fertilité des sols).



© Forêts & Bois de l'Est



Des dispositifs simples avec les éléments disponibles sur place permettent à moindre frais de préserver des zones sensibles, ici une zone humide sur le cheminement du tracteur.

Nous tendons vers le meilleur équilibre possible entre un coût réduit et un prix de revient justifié. Pour pallier le manque futur de débardeurs de peuplier en Champagne, nous privilégions le travail avec cette filiale, mais aussi certains autres prestataires partenaires à des prix acceptables par eux.

Comment organisez-vous le planning des chantiers, notamment en fonction des conditions climatiques ?

Le décalage de chantiers est plus délicat. Nos adhérents attendent un service avec un niveau de confiance élevé, et dans le même temps, les industriels ont des besoins cadencés de matière première. Gérer la planification de la production efficacement nécessite une réflexion à court, moyen et long termes. Les coupes prévues chez nos adhérents sont programmables. Nous privilégions bien évidemment les débardages sur sol sensible en été. Les conditions de neige peuvent également exclure certains massifs, dès novembre comme les Vosges ou le Haut-Jura. Comme notre territoire comprend 20 départements, cela favorise le redéploiement d'une partie de l'activité sur les massifs qui ressuient rapidement comme sur les plateaux calcaires par exemple.

L'état des lieux à l'entrée est établi strictement, afin d'anticiper toutes difficultés ou incompréhensions à la sortie. Nous sommes peu concernés par le niveau d'alerte de profondeur

des ornières, car les responsabilités communes du technicien et du sous-traitant sont engagées. Ainsi, les contrôles et les échanges réguliers les obligent conjointement à éviter les dégâts. Notre premier interlocuteur est le propriétaire et la confiance qu'il nous accorde.

En conclusion ?

Ce guide rassemble des recommandations déjà mises en pratiques, pour une part par la coopérative Forêts & Bois de l'Est. Son avantage est de nous rendre attentifs à bien intégrer l'ensemble des paramètres. Il est parfois difficile d'être objectif sur ce qui est normal et anormal dans l'exploitation d'un chantier. Nous avons travaillé avec le FCBA dans le cadre d'un projet européen pour étudier la perception par le propriétaire des dégâts et les freins à lever pour l'exploitation forestière. Une des premières préconisations de ce projet Simwood est de créer un guide photographique présentant en image, comment va être rendu le chantier avec ce qui est normal – taille des ornières, branches sur le cloisonnement, rémanents sur coupe – et ce qui ne l'est pas. Cette proposition me semble pertinente pour l'amélioration de l'information mutuelle. Il reste maintenant à la mettre en œuvre, ce qui figure comme une priorité dans le plan d'action de notre future certification Iso 9001. ■



Vidéo Les coopératives forestières et leurs adhérents : <http://www.foretsetboisdelest.com/actus-blogs-videos/videos.html>

En forêt, érosion rime avec prévention

 10 min

par Frédéric Darboux, Inra, Arnaud Legout, Inra et Julien Fiquepron, CNPF

Plus médiatisée en terrains agricoles, l'érosion menace-t-elle aussi les sols forestiers ? Quels sont les impacts potentiels sur la fertilité physique et chimique ? Quelles recommandations pour prévenir l'érosion en forêt ?



De l'érosion en forêt ?

L'érosion est plus courante en forêt que l'on ne l'imagine souvent. Le phénomène est très connu en domaine agricole, car les sols y étant souvent nus une partie de l'année, l'érosion y est facilitée. De plus, les rigoles et ravines formées apparaissent à la vue de tous au milieu des champs. Cependant les forêts ne sont pas épargnées, même si le phénomène y est plus discret. Premièrement, on voit rarement une ravine en train de se creuser : l'érosion ne se produit qu'épisodiquement, ce qui fait qu'on passe souvent sur le terrain après coup. De plus, en forêt, ces traces d'érosion peuvent être masquées rapidement par les chutes de litière régulières (feuilles, bois mort...).

Deuxièmement, si une ravine peut faire plusieurs dizaines de mètres de long, elle peut rester étroite (quelques dizaines de centimètres). Aussi, on peut passer à côté sans la voir, en particulier s'il y a un couvert herbacé. Troisièmement, l'érosion peut être diffuse : elle attaque légèrement une grande surface, sans créer ni rigoles, ni ravines, ce qui la rend discrète.

Tout ceci amène à sous-estimer l'érosion en domaine forestier : de nombreux propriétaires ne savent pas que leurs forêts subissent de l'érosion. En fait, on va surtout relever la présence d'érosion lorsqu'un événement marquant se présentera, telle une piste forestière coupée par une ravine (*photo ci-contre*). Cependant, le phénomène peut déjà avoir débuté bien plus tôt sans qu'on ne l'ait vraiment noté. Par exemple, l'érosion du lit des fossés ou leur comblement (imposant un curage) auraient dû attirer l'attention : ils témoignent indiscutablement de la survenue d'érosion.

Piste forestière endommagée par une ravine.



Mesures du débit d'eau dans une placette expérimentale dans la forêt domaniale du Val de Senones (Vosges).

Les conséquences pour les parcelles forestières

Le sol fournit les nutriments et l'eau indispensables à la croissance des arbres. L'érosion cause une diminution de l'épaisseur du sol. Moins de sol, c'est moins d'eau et moins de nutriments pour les arbres, avec pour conséquence un ralentissement possible de la croissance. Les effets seront d'autant plus visibles que le sol est superficiel, à faible réserve utile et pauvre chimiquement (l'érosion réduisant des stocks déjà très faibles).

L'érosion perturbe également le cycle des nutriments, c'est-à-dire la circulation et le stockage des nutriments au sein de l'écosystème forestier. L'érosion s'attaque d'abord aux horizons organiques qui protègent le sol (bois en décomposition, feuilles, humus...). Ils constituent un réservoir important de nutriments, qui bénéficient au sol et à l'arbre après décomposition. Si ces horizons disparaissent, la perte de fertilité est importante et le cycle des nutriments est mis à mal (disparition d'un réservoir clé et d'un flux de restitution). L'érosion s'attaque ensuite aux horizons organo-minéraux du sol. Ces horizons sont souvent très riches en nutriments et leur ablation par érosion accentue la perte de fertilité pour l'écosystème. Ces horizons sont très riches en matières organiques, qui jouent un rôle important dans le cycle des nutriments pour deux raisons : premièrement, la matière organique est un échangeur qui participe à la rétention des cations nutritifs dans les sols ; deuxièmement, elle restitue les éléments qu'elle contient, lorsqu'elle se décompose. Ainsi, d'un point de vue nutritionnel, la perte de matière organique constitue une double peine. De plus, les matières organiques vont se lier aux sables, limons et argiles du sol, favorisant ainsi une structuration du sol propice au stockage et à la circulation de l'eau et des nutriments.

Les conséquences en aval

Les conséquences de l'érosion vont au-delà de la forêt et de son exploitation : le sol érodé peut être transporté jusqu'aux cours d'eau et combler le lit de ruisseaux et rivières. Le comblement facilitera les débordements et les inondations, pouvant ainsi affecter les habitations. L'érosion a même des effets plus insidieux : même dans le cas d'une érosion de faible intensité, l'eau des cours d'eau peut devenir un peu plus boueuse. Cela peut fortement impacter l'écosystème des rivières, faisant diminuer les populations de truites (pour prendre un exemple typique). Qui imagine de telles conséquences en voyant une simple ravine dans une forêt ?

Les causes de l'érosion

L'érosion des sols sera naturellement plus intense si la pente est forte (> 30 %). Cela amène à penser que l'érosion est un problème circonscrit aux régions montagneuses. Si les régions montagneuses sont effectivement impactées par l'érosion, les autres régions n'en sont cependant pas exemptes. Même avec une pente faible, de l'érosion peut survenir : en fait, il suffit que les précipitations ne puissent pas complètement s'infiltrer dans le sol pour que du ruissellement se produise et crée de l'érosion. Cette situation est classique sur des sols tassés par le passage d'engins : le tassement limitera l'infiltration, l'eau ruissellera et pourra causer de l'érosion. Si les engins ont créé des ornières, la situation est encore plus problématique : les ornières vont faire office de canaux collectant les eaux de ruissellement. Alors que l'eau ruisselant sur un sol tassé pourrait peut-être s'infiltrer un peu plus loin dans la pente, une fois que l'eau est canalisée dans une ornière, sa capacité d'érosion va être décuplée et elle créera plus facilement des ravines. Pour couronner le tout, si les ornières se prolongent jusqu'à une piste forestière, les ravines vont attaquer directement cette piste.

Un site expérimental de l'INRA pour le suivi de l'érosion en forêt

Depuis 2017, l'unité de recherche « Biogéochimie des Écosystèmes Forestiers » (Inra, Nancy) gère un site dédié à l'étude du ruissellement et de l'érosion des sols dans la forêt domaniale du Val de Senones (Vosges). L'objectif est de préserver les sols et la qualité des cours d'eau.

Trois placettes (300 m² chacune) ont été installées sous un peuplement de hêtres, épicéas et sapins (figure 1). À l'aval de chaque placette sont installés des instruments pour mesurer les débits d'eau et les matières transportées. Cela permet d'évaluer les pertes de sol, de matières organiques et de nutriments par unité de surface.

Les placettes sont actuellement sous le même couvert forestier afin de vérifier qu'elles se comportent de la même manière. Dans quelques années, des exploitations avec des intensités de prélèvement variables y seront réalisées, en conservant une placette témoin. Ainsi, les effets de deux types d'exploitation sur le ruissellement et l'érosion pourront être évalués.

En complément, un ru situé à proximité a été équipé de deux « pièges à particules » afin de collecter les matières transportées pour les étudier (part de débris organiques, de particules minérales...). Ainsi, cette expérimentation permettra d'avoir une vision plus globale des conséquences de l'érosion tant sur les parcelles forestières que sur les cours d'eau situés à leur aval.

Des dispositifs simplifiés de suivi de l'érosion

L'Inra et le CNPF mènent un travail en commun pour concevoir des dispositifs simplifiés de suivi de l'érosion en forêt. Ces dispositifs sont complémentaires du site expérimental. Ils permettront d'être plus réactif pour des installations suite à des chantiers d'exploitation notamment. L'objectif est de balayer des situations variées pour voir dans quelle mesure les enseignements tirés des « placettes érosion lourdes » sont généralisables à d'autres contextes. Simon Noury effectue son stage BTS en 2018 sur ce sujet, avec une contribution du projet PSDR Afforball¹.

¹ Programme de recherche sur le développement régional. Adaptation de la filière forêt-bois du PNR des Ballons des Vosges.

Figure 1 - Dispositif expérimental sur l'érosion dans les Vosges



L'érosion peut exister en forêt de façon plus discrète qu'en agriculture (ravines recouvertes par les feuilles...). Les conséquences pour la parcelle touchée par l'érosion sont une diminution de l'épaisseur des sols et des fonctions associées (support de fertilité, de biodiversité...). En tenant

compte des causes de l'érosion observée, des recommandations simples peuvent être mises en œuvre, comme éviter de mettre le sol à nu, concevoir et aménager la circulation, répartir les rémanents de coupes sur les zones circulées. Mots-clés : érosion, sols forestiers, prévention.

Afin de mieux appréhender les phénomènes d'érosion sous forêt et leurs conséquences, des expérimentations sont en cours (voir encadré ci-contre).

Prévenir l'érosion

Si la coupure d'une piste forestière par une ravine peut empêcher brutalement l'exploitation, il est relativement aisé de remettre en état cette piste. Par contre, tout le sol, qui a été érodé dans votre forêt, est perdu à jamais : la vitesse de formation du sol est en effet bien trop lente pour espérer une reconstitution. Aussi, il faut **viser en priorité à prévenir la survenue de l'érosion**. En connaissant les causes de l'érosion, il va être possible d'adapter les interventions en forêt. On limitera autant que possible les interventions mettant le sol à nu (coupe rase, travail du sol). Une conception et un aménagement appropriés des chemins de circulation (cloisonnements, pistes) vont être essentiels pour prévenir la survenue de l'érosion. La mise en place de cloisonnements va limiter la surface totale concernée par le tassement, permettant à une plus grande proportion de la parcelle d'infiltrer l'eau. On tentera aussi de circuler uniquement lorsque les sols sont porteurs (et donc plutôt secs) : cela limitera à la fois l'intensité du tassement et la formation des ornières¹. On évitera que le cloisonnement descende en direct sur la piste en aménagement une jonction qui arrivera en tangentant la piste. Ainsi, la plus faible pente sur la portion aval du cloisonnement favorisera la sédimentation du sol. En cas de fort risque érosif, un autre moyen efficace et peu coûteux est de répartir une partie des rémanents de coupes sur les zones circulées : les branchages feront obstacles au ruissellement et, en le ralentissant, limiteront sa capacité à éroder le sol et favoriseront la sédimentation. Ceci n'était que quelques exemples visant à montrer que l'on peut prévenir le phénomène par des mesures simples. Bien sûr, tout n'est pas toujours possible, et chaque cas est particulier. Cependant, en ayant à l'esprit que de l'érosion peut survenir, les gestionnaires peuvent préconiser des méthodes d'exploitation capables de diminuer le risque d'apparition du phénomène.

Lorsqu'un phénomène d'érosion est diagnostiqué, il est encore temps d'agir. Une ana-



© AREAS

Une fascine, aménagement d'hydraulique douce pour limiter le ruissellement et l'érosion, implantée ici en milieu agricole en Normandie.

lyse permettra de décider des mesures anti-érosives adaptées. On pourra par exemple recourir à des techniques d'hydraulique douce comme l'installation de fascines en travers des versants et des ravines afin de retenir les sédiments (photo ci-dessus). Des menus bois pourront aussi être répartis dans les zones en érosion et à leur aval. Si une piste est atteinte par l'érosion, on devra peut-être aménager un fossé, des revers-d'eau et des buses pour diriger les écoulements. Lorsqu'une desserte est menacée, la priorité est d'évacuer l'eau le plus en amont possible de celle-ci. La liste des moyens de lutter contre l'érosion est longue. On mettra en œuvre les méthodes en fonction du contexte local.

Conclusion

Pour remédier aux dégâts, des techniques d'hydraulique douce restent relativement abordables. En revanche, il est très difficile de faire face à des dégâts massifs, impliquant des travaux de génie civil, trop coûteux au regard des revenus forestiers. L'enjeu est donc de prévenir les phénomènes lors du choix des interventions sensibles : conception des dessertes, systèmes d'exploitation, technique de préparation des plantations. ■

Bibliographie

■ Vennetier M., Ladier J., Rey F., 2015, *Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux*. Revue Forestière Française, École nationale du génie rural, 2014, LXVI (4), 15 p. : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01180744/document>

■ Diaporama sur les aménagements d'hydraulique douce : <http://www.eure-en-ligne.fr/webdav/site/eure-en-ligne/shared/cg27/pdf/DEA/2011/48%20-%20-%20Diaporama%20web%20pr%C3%A9sentation%20AREAS.pdf>

■ Guide pour contraindre l'érosion des chemins forestiers (Québec) : https://www.cjoint.com/doc/15_07/EGrqf4KLFla_Aper%C3%A7u-du-Guide-pour-contraindre-l-%C3%A9rosion-des-chemins-forestiers.pdf

■ Pischedda D. (coord.), 2009 : *Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL »*, Guide pratique, ONF, FCBA : www.onf.fr/outils/medias/20091203-145811-606852/++files++/1

■ Diaporama *Concevoir et entretenir une voirie forestière*, ONF, Onema, Communauté de communes des Gorges de la Haute Dordogne : www.correze.gouv.fr/content/download/11325/76328/file/gestion_de_voirie_forestiere_en_milieu_aquatique.pdf

¹ Voir l'article de Didier Pischedda sur le guide *Pratic'Sols* page 33.

Le carbone organique des sols forestiers, un stock en constante évolution

🕒 10 min

Par Delphine Derrien, Inra, Biogéochimie des Écosystèmes Forestiers, Nancy

Les écosystèmes forestiers sont un puits de carbone atmosphérique. La part la plus importante du carbone piégé dans ces écosystèmes forestiers est stockée dans les sols. Quelle est la taille de ce stock et comment évolue-t-il dans le temps ?

¹ Du carbone inorganique existe aussi dans les sols sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3). Le présent article ne traite pas de ce type de carbone.

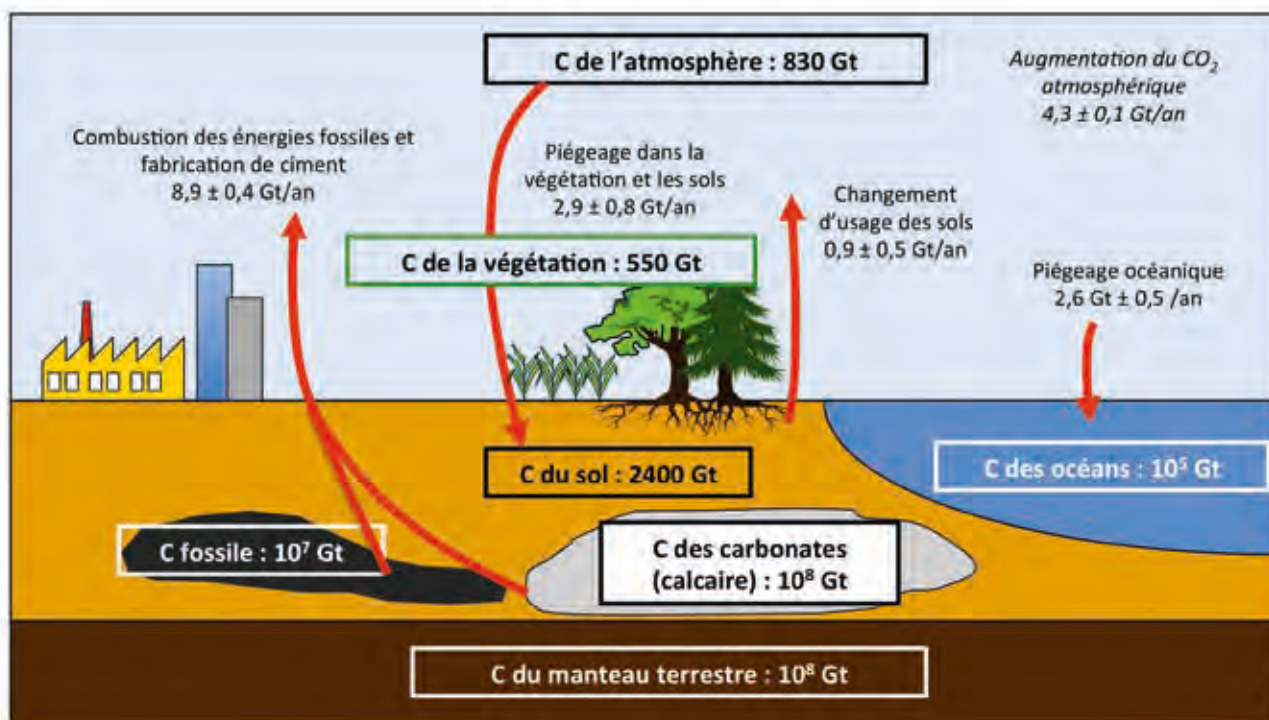
² Gt : gigatonne :
1 000 000 000 tonnes.

Le stockage de carbone des sols forestiers est vu comme un moyen de contribuer à diminuer la concentration de CO_2 dans l'atmosphère et ainsi d'atténuer le réchauffement climatique. Cet article fait l'état des connaissances sur les stocks de carbone dans les sols forestiers, les mécanismes qui contrôlent les changements de stocks au cours du temps, en insistant sur les spécificités des sols forestiers par rapport aux sols sous d'autres usages.

Ordre de grandeur des stocks

Les sols constituent le plus important réservoir de carbone (C) à la surface de la Terre. Ce carbone y est présent sous forme de matières organiques¹, c'est-à-dire de composés hérités des organismes vivants (végétation, faune, micro-organismes). Les sols contiennent 1 500 Gt² de C si on ne considère que le premier mètre, et 2 400 Gt de C si l'on considère l'ensemble de l'épaisseur des sols. Cette quantité de C représente environ trois fois la quantité de C présente dans l'atmosphère

Figure 1 - Représentation schématique du cycle global du carbone pour la décennie 2004-2013.



Les cadres représentent les réservoirs : atmosphère, végétation, sol, océans, gisements de pétrole et charbon, roches carbonatées et manteau terrestre. Les stocks sont donnés en gigatonnes de carbone. Les flèches représentent les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles et de la production de ciment, les émissions provenant de la déforestation et d'autres changements d'utilisation des terres, l'absorption de carbone par les océans, la végétation et les sols. L'augmentation de la concentration en dioxyde carbone atmosphérique résultant de l'ensemble des flux entre réservoirs est précisée en italique. Les flux sont indiqués en gigatonnes de carbone par an.

© La Quéré et al., 2015

Tableau 1 - Quantité de carbone stockée dans les sols forestiers en fonction des biomes, estimée à partir d'observations aériennes pour la biomasse et de la base données internationale sur les sols - d'après les travaux de Carvalhais *et al.*, 2014.

Biomes	Biomasse sur pied Gt C	Sol Gt C
Forêts boréales	39	466
Forêts tempérées	48	258
Forêts tropicales	221	480
Total Forêts	308	1204

et cinq fois celle stockée dans la biomasse vivante (*Figure 1*).

À l'échelle mondiale, les sols forestiers représentent un réservoir d'environ 1 200 Gt de C (*Tableau 1*). Ils contiennent donc 50 à 80 % de la quantité totale de C stockée dans les sols du monde.

Il existe des disparités entre régions du globe. Les sols forestiers boréaux ou tropicaux stockent presque deux fois plus de carbone que les sols forestiers tempérés (*Tableau 1*). Ces stocks supérieurs s'expliquent par l'importance des surfaces en forêt dans ces régions, mais aussi par les apports élevés de matières organiques au sol dans les forêts tropicales très productives, et par une lente décomposition des matières organiques due au climat froid des régions boréales.

Un stock en constante évolution

Le carbone présent dans les sols n'y est que pour une durée temporaire ; et les stocks énoncés précédemment peuvent varier en raison de perturbations naturelles ou sous l'influence de pratiques anthropiques.

Les stocks de carbone dans les sols dépendent des flux d'entrées et des mécanismes conditionnant la stabilisation de ces apports ou leur sortie par drainage, lessivage ou production de CO₂ (*voir figure 1*). La période entre l'entrée et la sortie du carbone dans le sol est appelée « temps de résidence ».

Les entrées de carbone organique dans les sols se font sous forme de litières aériennes et souterraines (feuilles, branches, racines) et par les exsudats racinaires. Les apports

aériens sont relativement bien estimés, mais beaucoup d'incertitudes demeurent quant à la quantification des apports souterrains. Sous l'action des décomposeurs du sol (macrofaune, microfaune, champignons et bactéries), ces litières sont fragmentées puis transformées en nouvelles molécules ou converties en énergie par minéralisation en CO₂. Le temps moyen de résidence du C dans les sols est de plusieurs décennies. Mais cette moyenne occulte une très forte variabilité. Certains composés ne résident que quelques jours dans les sols, d'autres y persistent durant des décennies, voire plus.

Il a longtemps été considéré que la persistance du carbone organique dans les sols dépendait uniquement des propriétés chimiques des molécules organiques. Ainsi les composés aromatiques ou hydrophobiques tels que les lignines ou les lipides étaient considérés comme récalcitrants, c'est-à-dire difficiles à dégrader. Les substances dites humiques, extraites par une succession de fractionnements chimiques, étaient considérées comme résultant de la condensation de molécules non dégradées et représentaient alors le terme ultime de la récalcitrance³. Mais les progrès scientifiques ont permis de revisiter ces concepts et de les mettre en défaut. Il a ainsi été démontré que les substances humiques n'existaient pas naturellement dans les sols et qu'elles étaient en fait des associations de molécules formées artificiellement par la procédure d'extraction chimique.

On sait de plus aujourd'hui que ce n'est pas uniquement la chimie des molécules qui explique leur persistance dans les sols, mais que le type d'activité des décomposeurs présents

³ Résistance à la dégradation.

Figure 2 - Dégradation du bois par des champignons capables d'attaquer la lignine.

a) Les champignons appelés « pourritures blanches » décomposent totalement la lignine, il ne reste que les fibres de cellulose de couleur blanche.

b) Les champignons appelés « pourritures brunes » modifient mais ne dégradent pas totalement la lignine. La lignine qui persiste donne alors une coloration foncée et une fragmentation en blocs parallélépipédiques du bois en décomposition.



P. Castano © CNPF

P. Gaudry © CNPF

est également un facteur déterminant. Ainsi, la lignine est attaquée rapidement dans un horizon organique colonisé par les champignons appelés « pourritures brunes » ou « pourritures blanches », car ces derniers, contrairement à beaucoup de micro-organismes, disposent de l'attirail nécessaire pour dégrader les structures aromatiques de la lignine (Figure 2).

Spécificités de la dynamique du C dans les sols forestiers

Par rapport aux sols cultivés, les sols forestiers sont très peu perturbés et présentent une structuration en couches successives. Les apports aériens s'accumulent à la surface pour former une couche (encore appelée horizon) organique⁴. Cette couche constitue les litières au sens large, composées de feuilles, aiguilles et brindilles, de débris fragmentés par la faune, de déjections de la faune, de bactéries et de champignons.

En France métropolitaine, on estime que cette couche de surface stocke en moyenne 10 tC/ha. Le temps moyen de résidence du carbone y est de quelques années.

Au terme de cette durée, le carbone est minéralisé sous forme de CO₂ ou transféré dans les couches plus profondes, constituées de

produits de l'altération des roches. Ce transfert en profondeur se fait sous forme de matières organiques solubles, ou si les conditions sont favorables à l'installation des invertébrés (sol pas trop acide – pH > 5), grâce à l'action de brassage de ces organismes.

Sur la base de l'observation visuelle de l'épaisseur et de la structure de cet horizon organique, on peut définir une typologie de fonctionnement du sol forestier, dite formes d'humus.

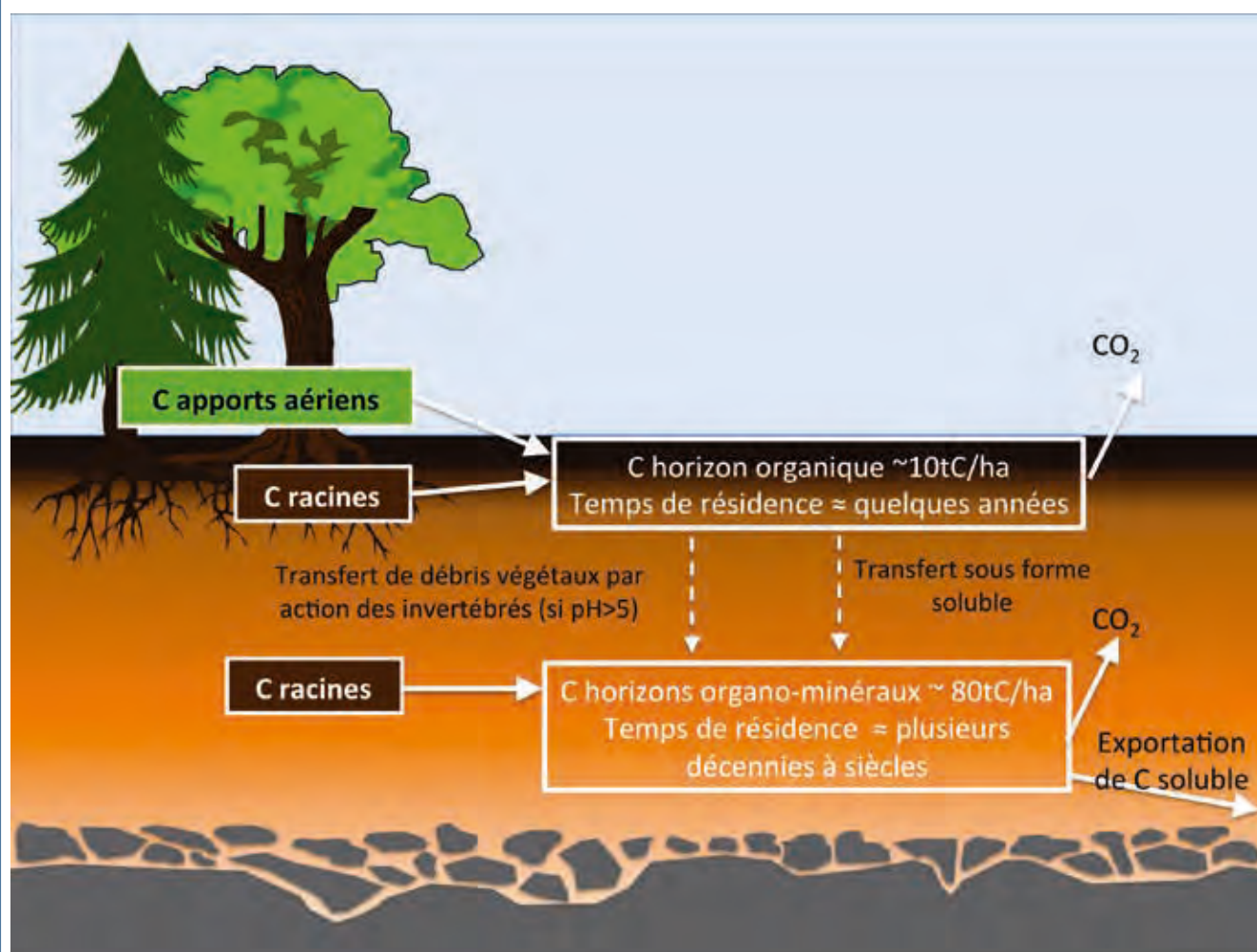
- Ainsi, sur sols bruns fertiles à pH élevé, on observe généralement des humus de type mull. Ils sont caractérisés par une fine couche de litière, témoignant d'une dégradation rapide des litières sous l'action de la macrofaune fouisseuse, des champignons et bactéries.

- Les humus de type moder sont reconnaissables à l'accumulation en surface de litières à différents stades de décomposition (litières entières, fragmentées, humifiées). Ces humus sont caractéristiques de sols acides dans lesquels les populations de champignons dominent les populations bactériennes. Bien que la décomposition des litières soit plus lente que dans les systèmes de type mull, la pénétration de l'horizon organique par le réseau des hyphes⁵ fongiques et des mycorhizes permet une utilisation efficace des nutriments libérés par les litières en décomposition.

⁴ Ces horizons sont aussi appelés horizons holorganiques.

⁵ Hyphe : filament constitutif des champignons.

Figure 3 - Origines, stocks et temps de résidence (ou durée de séjour) du carbone dans l'horizon organique (litières au sens large) et dans les horizons organo-minéraux du sol.



Les nombres indiqués sont des valeurs moyennes, il existe une forte variabilité de ces valeurs en fonction du contexte pédoclimatique. Le stock pour les horizons organo-minéraux est celui mesuré entre 0 et 30 centimètres de profondeur.

• Enfin, les humus de type mor sont caractérisés par une activité biologique faible qui conduit à l'accumulation d'une importante couche organique de surface. Ce type d'humus est souvent présent dans des zones climatiquement défavorables ou sur des roches mères très pauvres.

Sous l'horizon organique se développent les horizons dits « organo-minéraux ». Les matières organiques y sont associées à des minéraux plus ou moins altérés. Comme évoqué précédemment, ces horizons sont alimentés par des transferts de matières organiques depuis la couche organique de surface, mais les racines représentent une source majeure des matières organiques profondes. La quantité de carbone dans les horizons organo-minéraux décroît fortement avec la profondeur : **plus de la moitié du stock de carbone présent sur un mètre d'épaisseur se trouve dans les 30 premiers centimètres de sol.** En France métropolitaine, le stock dans les

30 premiers centimètres de sol sous forêt est en moyenne de 80 tC/ha. Cette quantité est équivalente à celle estimée sur la même profondeur pour les sols de prairies mais largement supérieure à la quantité de carbone présent dans les sols cultivés (50 tC/ha). Les matières organiques présentes dans les horizons organo-minéraux du sol établissent des interactions avec les phases minérales qui les protègent des décomposeurs et expliquent leur persistance dans les sols sur de longues durées. La durée de stockage augmente avec la profondeur en raison de la baisse de l'activité des décomposeurs : **l'âge moyen du C des sols forestiers serait de l'ordre de 30 ans à 10 cm de profondeur, mais de 300 ans à 40 cm de profondeur (Figure 3).**

Outre leur structuration verticale marquée, les sols forestiers se distinguent également des sols agricoles par leurs caractéristiques physico-chimiques et par la biochimie spécifique des apports de matière organique au sol.

À RETENIR

Les sols forestiers à l'échelle mondiale stockent 1 200 Gt de C. Ce stock est en constante évolution. Il dépend des apports et sorties par drainage ou production de CO₂. Le temps moyen de résidence du C dans le sol est de plu-

sieurs décennies en forêt. En France métropolitaine, l'horizon organique stocke en surface 10 tC/ha, contre 80 tC/ha en moyenne pour l'horizon organo-minéral plus profond. Mots-clés : carbone, stock, dynamique, sols forestiers.

⁵ Conditions édaphiques : propriétés physiques et chimiques des sols : par exemple pH, humidité, teneur en argile, en nutriments...

⁶ Un prochain dossier de Forêt-entreprise sera consacré au carbone, n° 245, en mars 2019.

En effet, les forêts sont souvent développées sur des sols non favorables à l'agriculture, c'est-à-dire pauvres en nutriments, souvent acides, engorgés ou très drainants, en climat froid et/ou humide. De plus, les litières forestières ont la particularité d'être très riches en lignine, une molécule que peu d'organismes peuvent décomposer. Ces conditions édaphiques⁵ sont propices au développement des champignons au détriment des bactéries. Comme indiqué précédemment, cela favorise la décomposition de la lignine qui persisterait sinon sur de très longues durées. Les conditions édaphiques sont également favorables au développement d'associations symbiotiques entre les arbres et les champignons (mycorhizes) qui facilitent l'accès des arbres aux nutriments du sol.

La mise en œuvre par les gestionnaires forestiers de pratiques sylvicoles qui maximisent les entrées de C ou favorisent les mécanismes de séquestration⁶ permettra de maintenir ou augmenter le stock de C dans les sols forestiers et aura pour bénéfice de réguler la concentration en CO₂ atmosphérique sur des pas de temps de l'ordre de quelques années à quelques décennies. De surcroît, un sol riche en matières organiques sera un sol fertile. En effet, les matières organiques contribueront à la formation d'agrégats qui structurent le sol et le protègent du risque d'érosion. Les matières organiques faciliteront de plus la rétention d'eau dans les sols. Enfin, les matières organiques sont riches en nutriments, tels que l'azote, le phosphore... que la végétation et les organismes vivants des sols pourront facilement mobiliser en fonction de leurs besoins. ■

Bibliographie

- Carvalhais N., Forkel M., Khomik M., Bellarby J., Jung M., Migliavacca M., Mu M., Saatchi S., Santoro M., Thurner M., Weber U., Ahrens B., Beer C., Cescatti A., Randerson J.T. & Reichstein M., 2014. *Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems*. Nature 514(7581), 213-217.
- Derrien D., Dignac M.-F., Basile Doelsch I., Barot S., Cécillon L., Chenu C., Chevallier T., Freschet G. T., Garnier P., Guenet B., Hedde M., Klumpp K., Lashermes G., Maron P.-A., Nunan N., Roumet C., Barré P., 2016. *Stocker du C dans les sols : Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ?*. Étude et Gestion des Sols, 23, 193-223.
- Derrien D. & Dignac M.-F., 2017. *Stocker du C dans les sols : mécanismes, pratiques et modèles*. Contributions du collectif CarboSMS, Webinaire AFES.(09/02/2017) - <https://vimeo.com/203318590>
- Dhôte J.F., Bastien C., Leban J.M., Saint-André L., Derrien D., Zhun M., Loustau D., Bosc A., Roux A., Schmitt B., 2016. *Les leviers forestiers en termes d'atténuation pour lutter contre le changement climatique : horizons 2030-2050*. Rapport d'étude, 67 pages
- Le Quéré C., Moriarty R., Andrew R. M., Peters G. P., Ciais P., Friedlingstein P., ... & Boden T. A., 2015. *Global carbon budget 2014*. Earth System Science Data, 7(1), 47-85.



Comprendre le « 4 pour 1000 » en 3'30
www.4p1000.org/fr

L'Initiative "4 pour 1000" ?

L'initiative internationale "4 pour 1000", lancée par la France en décembre 2015 lors de la COP 21, consiste à fédérer tous les acteurs volontaires du public et du privé (États, collectivités, entreprises, organisations professionnelles, ONG, établissements de la recherche...) dans le cadre du Plan d'action Lima-Paris. L'agriculture, et en particulier les sols agricoles, joue un rôle crucial pour la sécurité alimentaire et le changement climatique.

En s'appuyant sur une documentation scientifique solide, l'initiative « 4 pour 1000 » invite donc tous les partenaires à faire connaître ou mettre en place les actions concrètes sur le stockage du carbone dans les sols et le type de pratiques pour y parvenir (agro-écologie, agroforesterie, agriculture de conservation, de gestion des paysages...).

Un taux de croissance annuel du stock de carbone dans les sols de 0,4 %, soit 4 ‰ par an, permettrait de stopper l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère liée aux activités humaines.

Ce taux de croissance n'est pas une cible normative pour chaque pays, plutôt pour illustrer qu'une augmentation, même infime, du stock de carbone des sols agricoles (y compris les prairies et pâtures) et forestiers est un levier majeur pour améliorer la fertilité des sols et la production agricole et participer au respect de l'objectif de long terme de limiter la hausse des températures à + 2° C, seuil au-delà duquel les conséquences induites par le changement climatique seraient d'une ampleur significative, d'après le GIEC.¹

L'Initiative "4 pour 1000" se veut être un complément aux efforts indispensables de réduction globale et générale des émissions de gaz à effet de serre dans l'ensemble de l'économie. Elle est volontaire, il revient à chaque membre de définir la manière dont il contribue à ses objectifs.

¹ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Un indice pour qualifier les fonctions des ripisylves



Par Bruno Balligand et Noémi Havet, CNPF - CRPF Hauts-de-France

Les ripisylves occupent des fonctions sociétales, économiques et écologiques. Un nouvel indice pour mieux connaître leur qualité fonctionnelle est mis au point par le CRPF Hauts-de-France, en partenariat avec l'Agence de l'eau Artois-Picardie.

Les ripisylves, cordons boisés le long des cours d'eau, assurent différentes fonctions :

- mécanique en retenant les berges,
- économique avec la production de bois,
- environnementale en fournissant des habitats pour la faune terrestre et piscicole,
- mais aussi sociale dans leur rôle de rétention des crues ou d'épuration d'eau.

Dans le cadre du partenariat avec l'Agence de l'eau Artois Picardie, le CRPF a développé un indice de suivi de ces différentes fonctions, qui sont toutes indispensables. Leur importance est au cœur de différents documents de planification du territoire comme la lutte contre les inondations, l'intégration de la trame verte et bleue et la valorisation économique des boisements linéaires pour des chaufferies locales. Par conséquent, l'objectif a été d'obtenir un outil de mesure pouvant réunir et quantifier ces fonctions. Destiné à des gestionnaires de cours d'eau pour effectuer leur diagnostic d'entretien et de travaux lorsqu'ils parcourent les linéaires rivulaires, l'outil se veut simple et accessible.

Reposant en partie sur le fonctionnement de l'outil IBP¹ du CNPF, le paramètre qualité de la ripisylve a été élaboré, testé et amélioré au cours de ces deux ans.

Des indicateurs « positifs » et des indicateurs pénalisants

Dans un souci d'opérationnalité, l'indice se doit d'être rapide à mettre œuvre au cours d'une visite de terrain, mais aussi reposer sur des critères simples, objectifs et ne nécessitant pas de connaissances forestières spécifiques. Après un premier travail de recensement des fonctions de la ripisylve et des critères qui permettent de les évaluer², une grille d'évaluation de 10 indicateurs est mise en œuvre sur une

seule berge et sur une section de ripisylve de 50 mètres de long³, plusieurs tronçons peuvent se succéder jusqu'à atteindre le linéaire total à étudier. Ces indicateurs sont comptabilisés positivement ou négativement selon leur effet où l'on apprécie :

1. Continuité de la ripisylve
2. Largeur de la ripisylve
3. Nombre de strates de végétation
4. Diversité spécifique (arbres et arbustes)
5. Classes de diamètre des arbres
6. Nombre de microhabitats
7. État sanitaire du peuplement
8. Présence d'espèces exotiques envahissantes
9. Espèces inadaptées
10. Stabilité des arbres

Notation positive

Les six premiers indicateurs relèvent les aspects bénéfiques de la ripisylve et donnent donc des points positifs au score de la section étudiée, avec un maximum de cote pouvant atteindre 100 points.

1. Dans un premier temps, c'est la **continuité de la ripisylve** qui est étudiée. Le linéaire recouvert par le houppier des arbres et arbustes est estimé grâce à cinq seuils de continuité, exprimés en pourcentage de linéaire couvert, le seuil optimal étant fixé à au moins 75 % dans la littérature.
2. Après avoir analysé la section sur sa longueur, la **largeur de la ripisylve** est évaluée. Celle-ci est caractérisée par la distance entre le bas de la berge et le pied des arbres et arbustes qui la composent. Lorsque la largeur est variable sur le tronçon de 50 mètres, on retient la largeur⁴ la plus représentative du tronçon. Si l'aplomb du houppier d'un arbre est situé au-delà de deux mètres de la ripisylve, on considère qu'il en est déconnecté

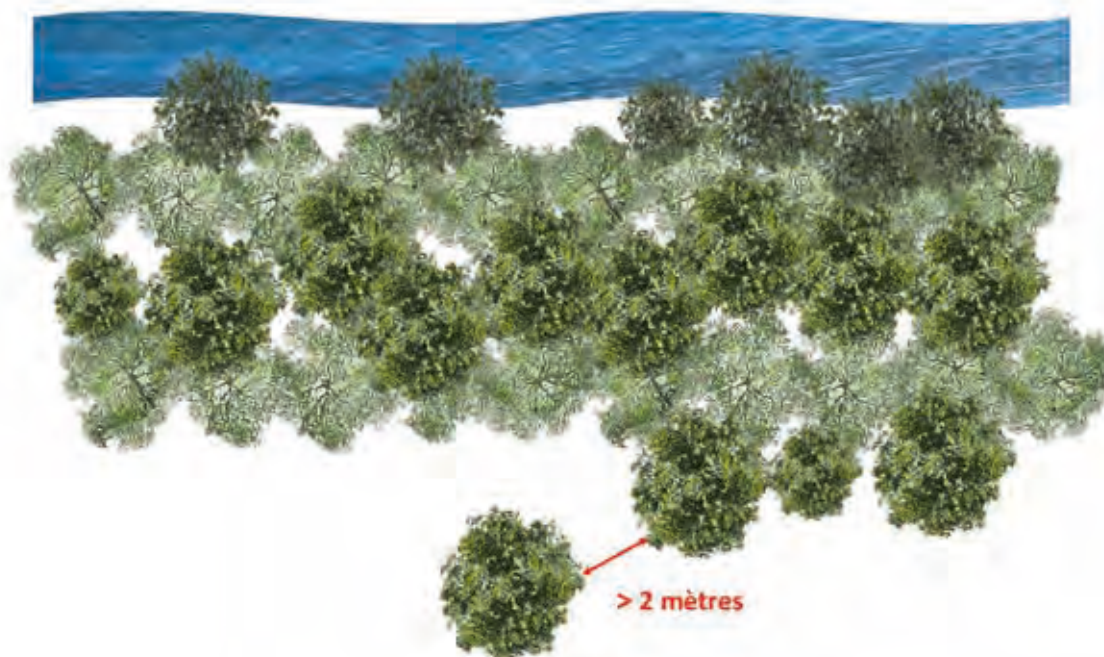
¹ Indice de biodiversité potentielle.

² Le Lez S. *Élaboration d'un indice de fonctionnalité de la ripisylve sur le bassin Artois-Picardie*. Rapport de stage licence professionnelle 2015.

³ Les 50 m sont une unité de mesure déjà utilisée pour d'autres outils de diagnostic des cours d'eau (CARHYCE, SEQ physique...).

⁴ Le seuil optimal de 5 m de large correspond à une valeur déterminée par la Politique agricole commune (PAC) avec la mise en place des bandes tampon ainsi que dans la plupart des plans de gestion des cours d'eau.

Figure 1 - Un arbre déconnecté par la distance de 2 m de la ripisylve



et ne sera donc pas pris en compte dans l'évaluation de la largeur de la ripisylve (figure 1).

3. Le **nombre de strates présentes** au sein d'une ripisylve est tout aussi important qu'il l'est au sein de l'IBP, appliqué en milieux forestiers. C'est la raison pour laquelle cet indicateur suit les mêmes seuils que l'IBP (strate herbacée ≤ 70 cm < strate arbustive < 7 m $\leq$ strate arborée). Une strate sera comptabilisée à partir d'un seuil de 25 % de recouvrement de la surface totale étudiée. La présence des trois strates donne évidemment la note la plus élevée.

4. La **diversité spécifique** de la ripisylve peut être observée tant dans la strate arborée qu'arbustive. Toutes les essences n'ont pas le même potentiel biologique, mais aucune pondération n'est appliquée selon l'espèce, si ce n'est pour les espèces envahissantes ou inadaptées au milieu (espèces ornementales). Sur la base des nombreuses observations sur le terrain et de la littérature, le nombre optimal d'essences différentes au sein d'une ripisylve est fixé à huit espèces et plus.

5. Pour caractériser une formation arborée de façon complète, on détermine la répartition des individus au sein de classes de diamètre. La présence de plusieurs diamètres au sein de la ripisylve favorise une dynamique paysagère et structurelle de la formation. Les diamètres sont évalués à 1,3 mètre de hauteur et une classe de diamètre doit représenter au moins 10 % du peuplement pour être comptabilisée.

Les diamètres se répartissent en classe comme suit : *très petit bois* < 7 cm < *petit bois* < 20 cm $\leq$ *bois moyen* < 40 cm $\leq$ *gros bois*.

6. Le dernier indicateur comptabilisé positivement est celui qui reprend le **nombre de microhabitats** présents au sein de la section étudiée. Cet indicateur est le seul qui pourrait laisser place à un biais de l'observateur. En effet, les microhabitats sélectionnés pour cet indicateur constituent une liste non exhaustive : très gros bois de diamètre supérieur à 70 cm ; bois mort sur pied ou au sol ; cavités, fissures et décollement d'écorce ; champignons ; coulées de sèves. Ces habitats sont ceux que l'on peut retrouver au sein du protocole de diagnostic d'une ripisylve élaboré par l'ONF pour un site Natura 2000⁵.

Les résultats des six indicateurs cités précédemment sont additionnés afin d'obtenir une première note sur un total de 100 points. Cette première cotation n'est pas finale. Les quatre indicateurs suivants concernent des aspects cotés négativement dans l'obtention d'une note totale.

Notation négative

7. L'état sanitaire du peuplement influe sur la pérennité de la ripisylve à court terme. Cet indicateur prend en compte deux enjeux sanitaires présents sur le bassin Artois-Picardie où a été élaboré l'indice, à savoir la Chalarose du frêne (*Chalara fraxinea*) et la maladie de l'encre de l'Aulne (*Phytophthora alni*). Le taux de recouvrement en surface calculé sur l'échelle

⁵ Élaboration d'un protocole de diagnostic préalable à toute intervention sur la ripisylve-ONF 2012 : www.gardrhodanien.com/CAGR_Protocole_diagnostic_ripisy.pdf



Bruno Balligand © CNPF

La présence de la Balsamine sur une section entraîne la baisse de la note finale pour la ripisylve constituée de diverses essences comme celle-ci.

d'abondance de Braun-Blanquet par les individus atteints sur la section étudiée constitue les seuils choisis pour cette première décote.

8. La présence d'espèces exotiques envahissantes constitue la seconde raison d'une décote de la note générale de la section de ripisylve étudiée. Les principales espèces signalées au sein des ripisylves du bassin Artois-Picardie sont les suivantes : Balsamine du Cap, Balsamine de l'Himalaya, Berce du Caucase, asters américaines, renouées asiatiques et les solidages américains. C'est à nouveau, le recouvrement en surface par ces espèces, qui détermine les seuils de décote pour ce deuxième indicateur négatif.

9. Il est possible de rencontrer des **espèces inadaptées**, dont le système racinaire n'assure pas la stabilité des berges, lorsqu'elles sont en bordure immédiate de cours d'eau⁶. Lorsque le système racinaire de ces espèces ou variétés est superficiel, la stabilité des berges n'est donc pas assurée. Dans certains cas, la présence d'espèces ornementales constitue également une raison de décote en raison de leur caractère allochtone⁷ et de la concurrence vis-à-vis d'essences locales qui jouent un rôle important dans la qualité des habitats.

10. Enfin, la **stabilité des arbres** à proximité immédiate des berges est le dernier indicateur négatif. Même si les caches racinaires sous les arbres penchés et affouillés constituent un plus pour la faune piscicole, cela menace fortement la stabilité des berges au risque de



Impact
de la Chalarose
du frêne
sur la cime.

B. Cano © CNPF

provoquer des embâcles obstruant l'écoulement de l'eau en cas de chute.

Une fois ces dix indicateurs évalués, la compilation donne un résultat compris entre -20 et 100 points qui caractérise la qualité de la section de 50 mètres de ripisylve inventoriée. Le résultat est ventilé dans l'une des six classes de fonctionnalité qui se répartissent par classe

⁶ Des peupliers naturels, tels que *Populus nigra*, espèce sur la liste rouge de l'IUCN (Union internationale pour la conservation de la nature), ont tout à fait leur place en ripisylve.

⁷ Généralement introduite par l'homme.



Ripisylve expérimentale plantée en complément d'une peupleraie.

de 20 points comme suit et génèrent une consigne principale de gestion :

Les indicateurs et les détails d'application et cotation figurent dans le tableau ci-dessous.

Note	Fonctionnalité	Consigne de gestion
-20 ; 0	Très mauvaise	Restauration
1 ; 20	Mauvaise	
21 ; 40	Médiocre	Entretien
41 ; 60	Moyenne	
61 ; 80	Bonne	Maintient en état, pas d'intervention immédiate
81 ; 100	Très bonne	

Un indice au service des plans de gestion des cours d'eau

Dans le cadre d'une étude complète d'un linéaire de cours d'eau, l'ensemble des résultats peut être encodé dans un tableau et être représenté de façon cartographique sous SIG⁸. Dans le cadre d'une étude à plus petite échelle, l'outil est encore plus facile à appliquer sur le terrain, car il est possible de passer directement à la phase de la notation sans la partie concernant la cartographie.

Cas particulier : en l'absence de ripisylve mais en présence d'espèces exotiques envahissantes, un signalement est fait pour pou-

voir mettre en place des mesures de gestion destinées à endiguer la progression de ces espèces.

Perspectives et améliorations futures de l'outil

Cet outil permet donc en un temps restreint d'obtenir un aperçu qualitatif de la ripisylve avec des critères très simples.

Il apporte une dimension supplémentaire aux nombreux outils d'évaluation déjà existants pour les cours d'eau en se focalisant sur la seule partie ripicole.

La version actuelle de l'outil est opérationnelle, mais n'est pas figée et pourra prendre en compte les remarques d'opérateurs futurs. Une autre version axée sur les jeunes plantations de ripisylves est en cours de réflexion pour permettre également d'évaluer les effets des travaux de restauration. L'ajout d'une dimension caractérisant le degré d'artificialisation de la ripisylve (ou de la berge nue) avant travaux est à prévoir et certains critères de la grille seront à adapter à des jeunes ripisylves (pas de gros diamètre, nombre d'habitat limité).

Cet outil simple et rapide peut dépasser les frontières du bassin Artois-Picardie et être utilisé sur d'autres territoires. Dans un massif forestier possédant plusieurs cours d'eau,

⁸ Système d'information géographique.

Tableau récapitulatif des indicateurs pour le calcul de l'indice d'une ripisylve

Critères	Notes				
	0	5	10	20	30
Continuité de la ripisylve	Absente	Clairsemée	Discontinue	Semi-continue	Continue
	$L. \leq 10\%$	$10 < L. \leq 25\%$	$25 < L. \leq 50\%$	$50 < L. \leq 75\%$	$L. > 75\%$
	0	10	20		
Largeur de la ripisylve	1 rangée	$1,5 \text{ m} \leq l. < 5 \text{ m}$	$l. \geq 5 \text{ m}$		
Nombre de strates Strate présente à $\geq 25\%$. Strate herbacée : $h. \leq 70 \text{ cm}$. Strate arbustive : $70 \text{ cm} > h. < 7 \text{ m}$. Strate arborescente : $h. \geq 7 \text{ m}$	1 seule strate	2 strates	3 strates		
	0	5	10		
Diversité spécifique	< 5 espèces	5 à 7 espèces	≥ 8 espèces		
Classe de diamètres . Très petit bois : $d. \leq 7 \text{ cm}$. Petit bois : $7 \text{ cm} < d. < 20 \text{ cm}$. Moyen bois : $20 \text{ cm} \geq d. < 40 \text{ cm}$. Gros bois : $d. \geq 40 \text{ cm}$	1 classe de diamètres	2 ou 3 classes de diamètres	4 classes de diamètres		
Microhabitats . Très gros bois vivant : $d. \geq 70 \text{ cm}$. Bois mort sur pied ou au sol : $d. \geq 30 \text{ cm}$ Cavités, fissures et décollements d'écorce	0 microhabitat	1 microhabitat	≥ 2 microhabitats		
	0	-10	-15	-20	
État sanitaire du peuplement	$r. \leq 5\%$	$5\% > r. \leq 25\%$	$25\% > r. < 50\%$	$\geq 50\%$	
	0	-5	-10	-15	-20
Espèces invasives	Absence	$r. \leq 5\%$	$5\% > r. \leq 25\%$	$25\% > r. < 50\%$	$\geq 50\%$
	0	-5	-10		
Espèces inadaptées À proximité immédiate de cours d'eau	Absence	1 à 3 pieds	≥ 4 pieds		
		ou $r. < 25\%$	ou $r. \geq 25\%$		
Stabilité Arbres et arbustes penchés sur le cours d'eau ou affouillés	Stable	Moyennement stable	Instable		
	$< 10\%$	10 à 30%	$> 30\%$		

l'indice peut servir également en diagnostic et être intégré à des documents de gestion durable.

Facile à mettre en œuvre, c'est également un moyen pour le CRPF Hauts-de-France de mesurer l'impact de la charlarose sur les forêts rivulaires de la région. ■

Résumé

Un nouvel indice de qualité de ripisylve évalue à partir de 10 critères simples et objectifs, la qualité d'un cordon boisé le long de cours d'eau, sur environ 50 m. Afin d'assurer la continuité des multiples fonctions d'une ripisylve, des recommandations de restauration ou d'entretien découlent du résultat obtenu.

Mots-clés : ripisylve, indice de qualité, Artois-Picardie.

Recommandations pour une sylviculture traditionnelle adaptative

Par François-Xavier Valengin, CNPF-CRPF Hauts-de-France

Anticiper les impacts du changement climatique est le leitmotiv des forestiers. Un chercheur de l'Inra diffuse des recommandations, d'autant mieux qu'il les applique dans sa forêt familiale en Hauts-de-France.

Alexis Ducouso est à la fois chercheur à l'Inra et gestionnaire d'une propriété familiale dans les Hauts-de-France, à proximité d'Amiens dans la Somme. Cette double casquette lui permet d'être à la pointe sur l'état des connaissances de la recherche génétique et climatique et de réfléchir à des modèles de sylviculture pour cette propriété qu'il gère. Il est intervenu à plusieurs reprises en réunion Cetef ou lors du Salon Forêt Bois organisé par le CRPF à Flixecourt en septembre 2017. Cet article résume en partie les interventions qu'il a faites à ce titre.

Les changements climatiques en cours sont une réalité à laquelle il est impossible d'échapper. Les climatologues et scientifiques, qui en étudient l'évolution, ont établi différents scénarios en fonction de la capacité de la population mondiale à maîtriser les rejets de gaz à effet de serre qu'elle produit. Si le réchauffement est inéluctable et ses effets actuels mesurables, son ampleur à moyen et long terme reste une source importante d'incertitude. En Picardie par exemple, la température moyenne a déjà augmenté de 0,7°C° en un siècle. Il reste une incertitude de taille : comment vont évoluer la température et surtout la pluviométrie ? Sur des moyennes trentenaires, il semblerait que cette dernière soit en augmentation au nord de Paris.

Dans ce contexte, la liste des risques à prendre en considération est longue pour le propriétaire forestier :

- augmentation des accidents et adversités diverses (tempêtes, dépérissements, pathologie...);
- évolution de la station (température et pluviométrie);
- problème des sols;
- stabilité des peuplements;

- gestion de la ressource en eau des sols;
- gestion de la biodiversité;
- gestion des essences;
- gestion des ressources génétiques;
- évolution rapide et drastique des marchés du bois, de la demande sociale...

Pour Alexis Ducouso, l'alternative de gestion est la suivante :

- la ligniculture avec des cycles de production très courts, comme elle se pratique déjà avec certaines essences (pin maritime, peuplier...)
- ou une sylviculture traditionnelle adaptative, basée sur des processus écologiques permettant d'augmenter la résilience de peuplements composés d'essences autochtones et destinée à favoriser la multifonctionnalité.

Dans le premier cas, les investissements financiers sont importants et supposent un suivi des évolutions techniques. Pour la seconde situation, l'investissement financier est faible, mais requiert un fort investissement en matière grise pour analyser, observer, quantifier la situation initiale et les évolutions.

Pour la propriété familiale qu'il gère, Alexis Ducouso a opté pour la seconde possibilité et décline un certain nombre de recommandations.

1. Parmi les éléments incontournables qu'il convient de mettre en place préalablement à toute gestion figurent **les cloisonnements et leurs extensions** : aires de stockage des bois, car il est essentiel de préserver le capital de production des sols forestiers. Les changements climatiques observables génèrent des variations brutales de températures et de pluviométrie, comme on a pu l'observer au cours de ces derniers hivers. Il est donc parfois difficile de sortir les bois dans des conditions



La différence des origines s'illustre parfaitement entre ces deux plants : des chênes bon marché d'Europe de l'Est et un « grand cru » de Quercus petraea.

acceptables. Par ailleurs, la demande en bois fluctue aussi et le propriétaire doit donc être en capacité de réagir pour faire face à des demandes ponctuelles ou conjoncturelles : la forte demande actuelle en chêne en est un exemple, la nécessité d'exploiter les frênes atteints par la chalarose en est un autre. Du fait des changements globaux, il faut surveiller de manière importante les peuplements. Les cloisonnements facilitent ce travail et améliorent sa qualité.

2. La mesure régulière de la surface terrière assure un contrôle des peuplements et une programmation opportune des interventions (éclaircies notamment) qui améliorent à la fois la stabilité des peuplements et une optimisation de leur consommation en eau. La ressource hydrique du sol est ainsi mieux préservée et optimisée.

3. Les peuplements diversifiés permettent une meilleure croissance et sont davantage résilients face aux multiples adversités auxquelles ils peuvent être confrontés : pathogènes et accidents climatiques. Ils évitent aussi l'impasse dans laquelle se trouvent les peuplements monospécifiques, comme on le vit actuellement dans certaines situations avec le frêne.

4. Choix des essences

La principale difficulté réside dans le **choix d'essences adaptées** à un climat évolutif : des outils¹ arrivent et permettront de mieux appréhender ces choix.

La cartographie prédictive des stations aidera aussi propriétaires et gestionnaires pour ces choix.

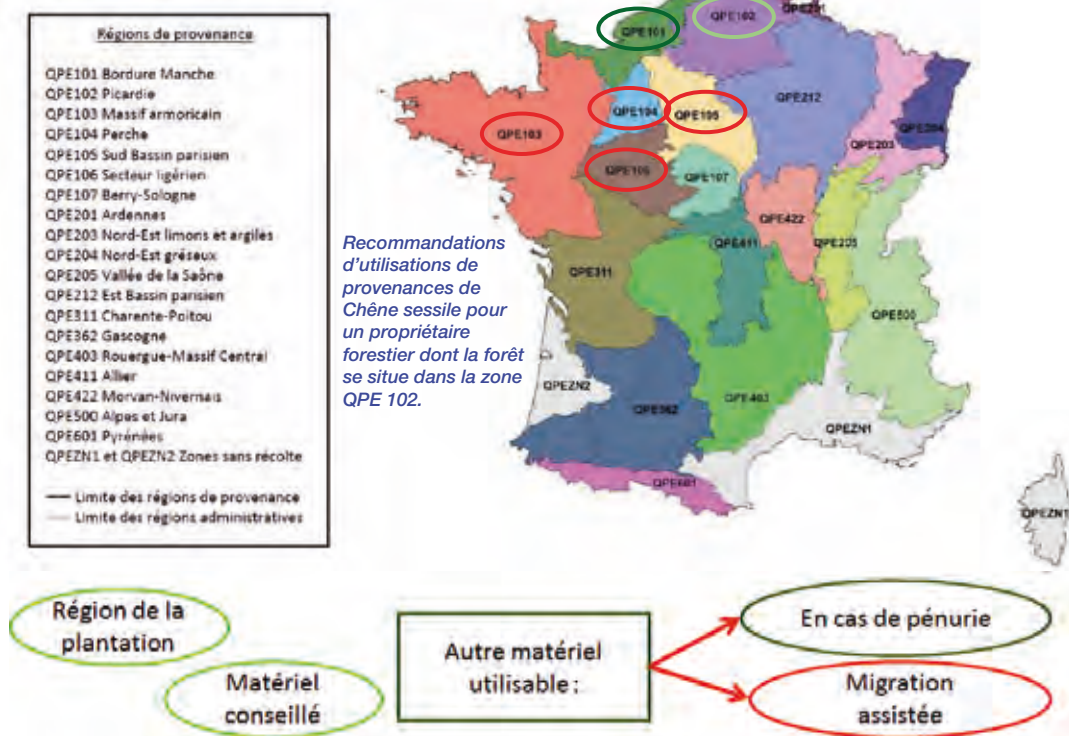
Dans les simulations réalisées pour les différents scénarios de changements climatiques, il est évident que les essences forestières devront migrer : leur aire de répartition a déjà évolué, certes lentement, au fil des évolutions climatiques naturelles. Cette fois, compte tenu de la rapidité des changements en cours, il sera indispensable de les y aider. La première chose est que l'espèce choisie soit adaptée au climat d'aujourd'hui et ensuite à un des climats possibles dans le futur. L'introduction de nouvelles essences est du domaine de la recherche : le propriétaire forestier ne doit pas s'emballer pour une essence, car il n'existe pas d'essence « miracle ». Pour l'illustrer, on peut évoquer l'engouement ancien que le chêne rouge d'Amérique a suscité avec la plantation de 400 000 ha de cette essence à l'époque du FFN. Or, il ne resterait aujourd'hui, selon l'Inventaire Géographique National, que 32 000 ha de peuplements de chêne rouge !

5. La migration assistée

Pour permettre à nos forêts de s'adapter, il faudra recourir à la migration assistée d'espèces plus tolérantes aux chaleurs et canicules. La flore du pourtour méditerranéen est très riche en espèces ayant un bon potentiel de production forestière et d'adaptation aux climats du futur. Le seul genre « chêne » sur le périmètre européen, recèle quelque 28 essences, dont 26 ont un comportement thermophile. (tableau p. 57). Parmi celles-ci, le chêne pubescent fait déjà l'objet de plantations expérimentales et d'introductions dans plusieurs régions au nord de la Loire où sa présence naturelle était très ponctuelle. Il existe de très nombreux autres chênes au comportement thermophile (supportant la chaleur), qui pourraient être testés pour leur adaptation aux changements climatiques et l'intérêt de leur bois.

¹ Bioclimsol : outil élaboré par le CNPF ; IKS : cartes d'évolution d'aires climatiques, élaboré par l'ONF.

Carte des régions de provenance de chêne sessile



6. La génétique forestière est, à ce jour, la grande oubliée des gestionnaires.

D'autres pistes doivent être étudiées et parmi celles-ci figure la génétique forestière : il est indispensable de faire tourner les mécanismes évolutifs à plein régime. La diversité génétique permet de jouer sur plusieurs niveaux : la sélection est ce que gestionnaires et propriétaires forestiers connaissent le mieux, car ils la pratiquent lors des opérations d'éclaircies ou de martelage en éliminant arbres malades, mal conformés, dépérissant. Mais la génétique permet de jouer également sur d'autres registres comme la dérive génétique, les mutations, l'épigénétique, les flux de gènes et les migrations. Sans développer un cours de génétique, quelques explications :

L'épigénétique est en résumé l'incidence de l'environnement sur l'expression d'un gène. Les connaissances sur ce phénomène sont encore trop récentes pour envisager des applications en forêt.

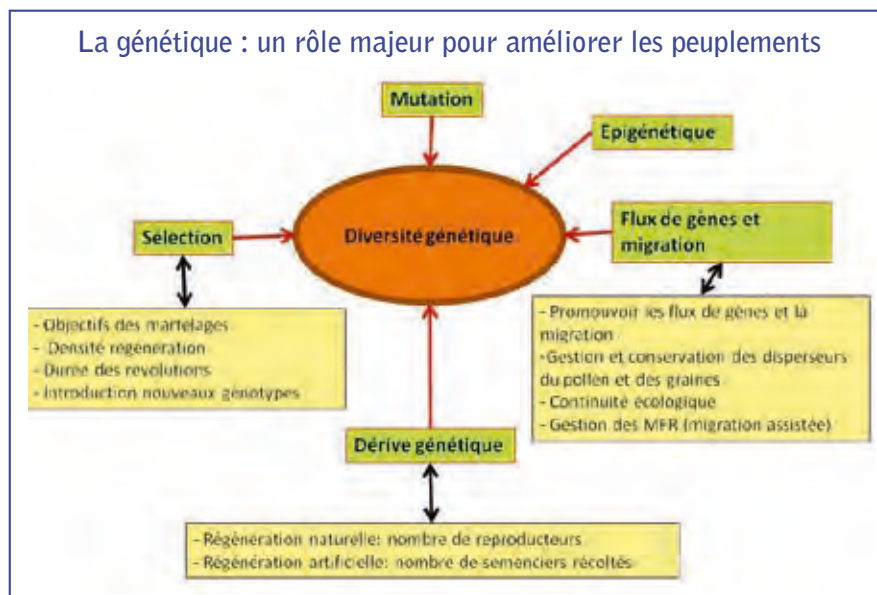
La dérive génétique est la perte de diversité génétique due au hasard lors du passage d'une génération à l'autre. Le forestier peut limiter cette perte en gardant un grand nombre de reproducteurs lors des régénérations naturelles ou lors des récoltes de semences.

Les flux de gènes et la migration : les flux de gènes sont la dispersion des gènes à l'intérieur des populations ; la migration est l'échange de gènes entre populations. La migration va permettre l'arrivée de gènes venant de populations de climats plus chauds et secs. Le forestier peut agir sur trois points :

- en protégeant les disperseurs du pollen (abeilles, osmies, syrphes...) et des graines (corvidés, renard, mustélidés, blaireau, fauvelles, turdidés...) d'autres populations ;
- en introduisant des matériel forestiers de reproductions (MFR) venant de régions de provenances plus chaudes et sèches ;
- en restaurant les continuités écologiques entre les massifs forestiers.

La sélection est le mécanisme le plus connu des forestiers. Il existe de nombreux types de sélection naturelle (sélection directionnelle, sélection divergente, sélection diversifiante, sélection fréquence-dépendante...). Le forestier peut modifier la sélection par le choix des arbres reproducteurs et aussi en modifiant les conditions de développement de ses peuplements.

La génétique : un rôle majeur pour améliorer les peuplements



Nom scientifique	Nom français	Localisation et description
<i>Quercus afares</i>	Chêne afarès	Nord-Est de l'Algérie et Nord-Est de la Tunisie ; Hauteur : 25 - 30 m, bois de très bonne qualité. Espèce très menacée.
<i>Quercus alnifolia</i>	Chêne doré ou chêne nain	Endémique du massif du Troodos (Chypre) ; Hauteur : 10 m ; Espèce protégée et habitat appartenant à la directive européenne ; stabilisation des pentes ; Espèce menacée.
<i>Quercus aucheri</i>	Chêne d'Aucher ou Boz-pirnal	Turquie (Anatolie) et Grèce (Iles Égée) ; Hauteur : 3 m maximum 10 m.
<i>Quercus brantii</i>	Chêne de Perse ou chêne de Brant	Est de la Turquie au nord de L'Iran ; Hauteur : 10 m, diamètre de 80 cm.
<i>Quercus canariensis</i>	Chêne zéen	Afrique du Nord et sud de l'Espagne et du Portugal. Hauteur : 30 m, diamètre : 1,50 m ; Bois de bonne qualité avec une tendance au retrait.
<i>Quercus cerris</i>	Chêne chevelu, chêne lombard ou chêne cerris	Italie, Europe du Sud-Est (limite Nord Slovaquie) et Asie Mineure ; Hauteur : 40 m et diamètre : 2 m ; 150-200 ans ; Croissance rapide mais bois de qualité inférieure aux chênes sessile et pédonculé.
<i>Quercus coccifera</i>	Chêne kermès ou chêne des garrigues	Afrique du Nord, Europe du Sud et Proche-Orient ; Hauteur : 3 m ; longévité : 200 ans minimum.
<i>Quercus congesta</i>	Chêne compact, chêne de Sicile	Sardaigne, Sicile et Sud Italie ; Hauteur : 12 m (maximum : 18 m et diamètre : 1,80 m) ; Bois de chauffage, production de gland pour le bétail.
<i>Quercus dalechampii</i>	Chêne de Daléchamp	Balkans, Grèce, Bulgarie, Autriche, Italie ; Hauteur : 25-30 m.
<i>Quercus faginea</i>	Chêne faginé	Afrique du Nord, Péninsule Ibérique ; Hauteur : 20 m, diamètre : 80 cm ; 600 ans ; Charpente et bois de feux.
<i>Quercus frainetto</i>	Chêne de Hongrie	Balkans, Italie, Hongrie, Bulgarie, Roumanie et Turquie ; Hauteur : 40 m et diamètre : 2 m.
<i>Quercus hartwissiana</i>		Bulgarie, Turquie et Caucase ; Hauteur : 35 m ; croissance rapide.
<i>Quercus ilex</i>	Chêne vert et yeuse	Maghreb, péninsule Ibérique, sud de la France Italie, Balkans, Grèce ; Hauteur : 20 m exceptionnellement 35 m ; diamètre : 1 m ; croissance lente.
<i>Quercus infectoria</i>	Chêne à galls, chêne d'Israël, chêne d'Alep	Sud-Est de l'Europe, Moyen-Orient, sud-ouest de l'Asie ; Hauteur : 5-6 m ; Plante médicinale (galls).
<i>Quercus ithaburensis</i>	Chêne du mont Thabor, chêne Velani ou chêne de Grèce	Sud-est de l'Europe et Moyen-Orient ; Hauteur 10 m et diamètre 2 m.
<i>Quercus libani</i>	Chêne du Liban	Moyen-Orient ; Hauteur : 10 m.
<i>Quercus lusitanica</i>	Chêne du Portugal	Péninsule Ibérique, Baléares, Algérie et Maroc ; Hauteur : 10-15 m ; teinture (galls).
<i>Quercus macranthera</i>	Chêne du Caucase ou chêne perse	Caucase, Turquie, et Nord Iran ; Hauteur : 30 m.
<i>Quercus petraea</i>	Chêne sessile ou chêne rouvre	Europe, Turquie et Caucase ; Hauteur : 35-50 m, diamètre plus de 1 mètre ; Bois de très bonne qualité ; longévité : 700 ans.
<i>Quercus pontica</i>	Chêne d'Arménie ou chêne du Pontin	Nord de la Turquie et ouest du Caucase ; Hauteur : 10 m, diamètre : 40 cm.
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent	Moitié sud de l'Europe, Turquie, sud de la Russie ; Hauteur : 20 m atteint 30 m, diamètre plus 1 m ; Bois de bonne qualité.
<i>Quercus pyrenaica</i>	Chêne tauzin	Sud-ouest de l'Europe, Maroc ; Hauteur : 30 m, diamètre plus 1 m.
<i>Quercus robur</i>	Chêne pédonculé	Europe, Turquie et Caucase ; Hauteur : 45 m, diamètre plus de 1 m ; Bois de très bonne qualité ; longévité : 700 ans minimum.
<i>Quercus rotundifolia</i>	Chêne vert	Statut discuté, péninsule Ibérique, sud-est de la France, idem Quercus ilex.
<i>Quercus sicula</i>	Chêne Sicile	Probablement disparu, Sicile.
<i>Quercus suber</i>	Chêne liège	Maghreb, Sud de la France et Italie ; Hauteur : 25 m (43 m maximum), longévité : 150-200 ans.
<i>Quercus trojana</i>	Chêne de Macédoine	Sud-est de l'Europe, sud de l'Italie, Turquie ; Hauteur : 20 m.
<i>Quercus vulcanica</i>	Chêne des volcans	Turquie ; Hauteur : 35 m, plus de 1 mètre ; bonne croissance ; Bois de très bonne qualité

Le travail continu de sélection génétique opéré depuis plusieurs décennies a permis d'améliorer la forme et la vigueur des arbres sur le chêne comme le montrent les résultats de ce graphique.

La forme géométrique verte indique que les plants grand cru (petits carrés) sont mieux conformés que les autres.

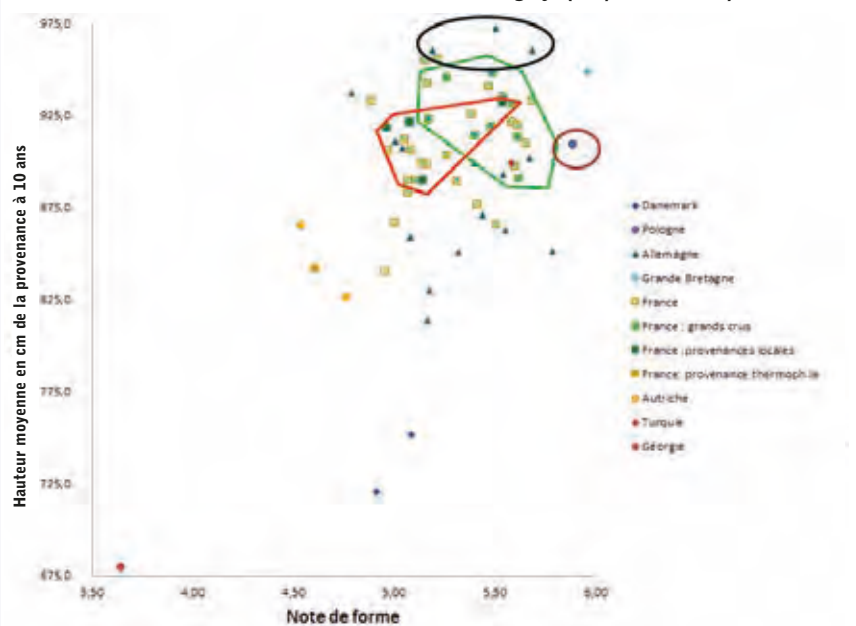
Rond : provenance normale.

Triangle : provenance locale pour le site.

La sélection de matériel forestier de reproduction est tout aussi capitale : depuis très longtemps, nous bénéficions en France (et en Europe maintenant) de plants issus de graines ou boutures et classés dans différentes catégories (bleue, rose, verte et jaune) selon le niveau de sélection opéré. Le matériel, qui a prouvé sa supériorité génétique dans des tests, est classé en étiquette bleue, les peuplements sélectionnés sont en vert, les vergers à graines en rose... Les comparatifs réalisés (par exemple, par le test de provenances de Sillegny) mettent en évidence la supériorité de forme et de croissance des grands crus et du matériel local. Le propriétaire forestier utilisera ce matériel génétique sélectionné et aura intérêt, pour démarrer une migration assistée, à utiliser des provenances plus méridionales comme l'illustre la carte page 56.

Les canicules plus fortes et plus longues provoqueront l'adaptation de certains arbres et le dépérissement puis la mort des autres. Certains descendants des premiers développeront des capacités de résistance accrues par rapport à la moyenne de la population initiale. L'introduction de chênes thermophiles comme le chêne pubescent, pourrait, par hybridation avec son cousin sessile ou même pédonculé générer des descendants mieux armés pour les changements climatiques.

Relation entre la hauteur et la forme dans le test de provenance de chêne sessile de la forêt de Sillegny (57, Lorraine).



Résumé

Pour mieux adapter les forêts au changement climatique, une alternative de sylviculture est possible : la ligniculture ou une sylviculture traditionnelle adaptative. De bonnes pratiques sont recommandées comme l'installation de cloisonnements, des essences objectif adaptées, une anticipation des ressources génétiques, la prise en compte de la biodiversité et une connaissance précise des stations.

Mots-clés : changement climatique, recommandations, sylviculture.

7. Favoriser les mécanismes naturels qui assurent le brassage des gènes et l'adaptation des espèces

De nombreuses espèces animales contribuent à disperser les graines. On peut notamment citer les renard, blaireau, fouine, martre, grives, merle, sitelle torchepot, fauvettes... Le cas du geai est remarquable, car cet oiseau est, à lui seul, la première entreprise de reboisement européenne. Sur les 5 000 à 10 000 glands que transporte et cache chaque oiseau, on estime que 2 500 à 5 000 plants vivants sortent de terre ! La biodiversité doit donc être favorisée et étudiée *in situ* en raison de l'impact positif qu'elle apportera à nos forêts confrontées aux changements climatiques. L'Indice de biodiversité potentielle (IBP), créé et diffusé par le CNPF, constitue à ce titre un outil incontournable. Il permet de quantifier dans différents domaines (milieux aquatiques, ouverts...) les espèces qu'il est possible de rencontrer ou de favoriser, car le mode de gestion influence la diversité et la quantité des espèces présentes : maintenir des arbres morts sur pied ou à terre, des arbres à cavités, le lierre... contribue à la biodiversité et le propriétaire doit donc réaliser ce diagnostic et opter pour des mesures de gestion favorables à la biodiversité.

8. Mais la **détermination fine des stations** est aussi indispensable. Elle permet de définir les conditions (sol, climat, humidité) dans lesquelles les arbres vont pousser et d'établir une palette d'essences actuellement adaptées ou qui pourraient l'être selon le ou les scénarios de changements climatiques retenus.

Pour conclure, ne rien faire est indiscutablement la pire des solutions. La mise en place de bonnes pratiques sylvicoles reposant sur des cloisonnements, le choix d'essences objectif, la gestion des ressources génétiques, la prise en compte de la biodiversité et une sylviculture dynamique permettront aux propriétaires de préparer leurs forêts à des changements climatiques qui s'accroissent. Quelle que soit l'option (ligniculture ou sylviculture traditionnelle) retenue, le propriétaire forestier devra être beaucoup plus réactif et informé qu'il ne devait l'être par le passé. ■

Remerciements à Alexis Ducousso pour sa contribution.

Amélioration de la conjoncture de la filière forêt-bois

Par Nathalie Maréchal, CNPF-IDF

Les indicateurs du marché des forêts¹ et du prix de vente des bois² confirment l'amélioration de la conjoncture de la filière forêt-bois, malgré quelques marchés en tension. Des indicateurs de prix favorables à la récolte de bois en forêt privée.

Le bois, matériau innovant, écologique, indéfiniment renouvelable, est source d'inspirations infinies dans la construction ou la rénovation. La valorisation du bois français est un enjeu majeur pour l'économie, notamment pour répondre aux défis écologiques et de création de valeur ajoutée pour l'emploi dans les territoires. Certains indicateurs, comme l'augmentation de 10 % des permis de construire, sont encourageants.

Le marché du bois

Dans le cadre de l'Observatoire économique de France Bois Forêt, la Société forestière, l'Asffor³ et Experts forestiers de France établissent un indicateur annuel du prix de vente de bois sur pied en forêt privée. L'indice général du prix des bois sur pied progresse de 6 % en 2017 par rapport à 2016, confirmant la tendance des années précédentes. Le marché est demandeur, car plus de 85 % des volumes mobilisés par les Experts forestiers de France ont trouvé acquéreurs, pour environ 1,9 million de m³. Les évolutions sont néanmoins contrastées entre feuillus et résineux et bois industrie. Trois essences influencent le marché par l'importance de leur volume : le douglas 25 %, le chêne 15 %, le pin maritime 11 %.

Les cours de résineux restent directement corrélés au secteur de la construction, qui connaît une reprise en 2017. Les résineux toutes essences confondues progressent de 4 % à 44 €/m³, avec une certaine disparité régionale. Le prix du douglas poursuit la hausse + 6 % à 56 €/m³ pour une grume de 1,2 m³

de volume unitaire moyen. Les transformateurs apprécient particulièrement les arbres entre 1 m³ et 2,5 m³, avec un écart régional de 50 % entre l'Est de la France et l'Occitanie. Les gros bois de plus 2,5 m³ pâtissent d'une demande moindre.

Le pin maritime bénéficie d'une hausse de 9 % après deux baisses en 2015 et 2016. Le prix moyen s'établit à 36 €/m³ pour un arbre de 1,25 m³. Dans le Sud-ouest, la forte demande issue de la pénurie de matière, à la suite des tempêtes récentes, explique principalement cette hausse, avec la présence de nombreuses industries de transformation.

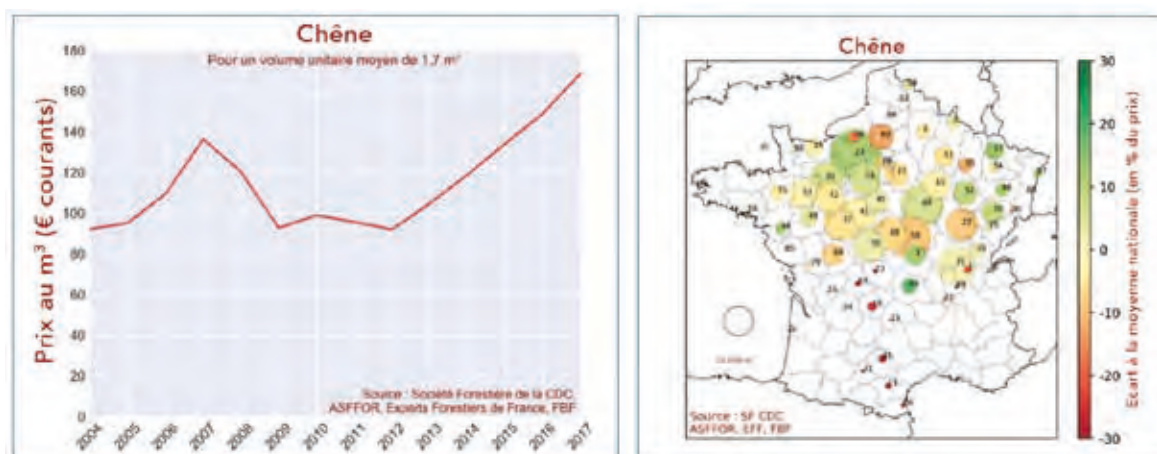
Pour le chêne, la conjonction de plusieurs facteurs explique la nouvelle hausse de 13 %, sensiblement équivalente à celles des 4 années précédentes. Le prix moyen du chêne s'affiche à 168 €/m³ pour un volume unitaire moyen de 1,7 m³. L'offre générale de chêne est tendancielle en baisse au plan national. La forêt privée s'est mobilisée et a significativement augmenté sa récolte. La demande augmente sur tous les débouchés : parquets, menuiserie, charpente, traverses paysagères, merrain. Les marchés sont actifs, tant en France qu'à l'export, notamment les marchés allemand, anglais, suisse, et asiatique. Le peuplier enregistre une forte hausse en 2017 de + 16 %, avec un prix moyen à 38 €/m³ pour volume unitaire moyen (v.u.m.) de 1,35 m³, contre 33 €/m³ en 2016. Le manque de renouvellement des peupleraies et les disparités régionales entre la production de peuplier et la transformation expliquent cette hausse.

¹ L'indicateur du marché des forêts est produit par Terres d'Europe-Scafr (Sociétés d'aménagement foncier et d'établissement rural - Safer) et la Société forestière.

² L'indicateur des ventes de bois est produit par la Société forestière en partenariat avec l'Asffor et Experts forestiers de France, dans le cadre de l'Observatoire économique de l'interprofession nationale France Bois Forêt.

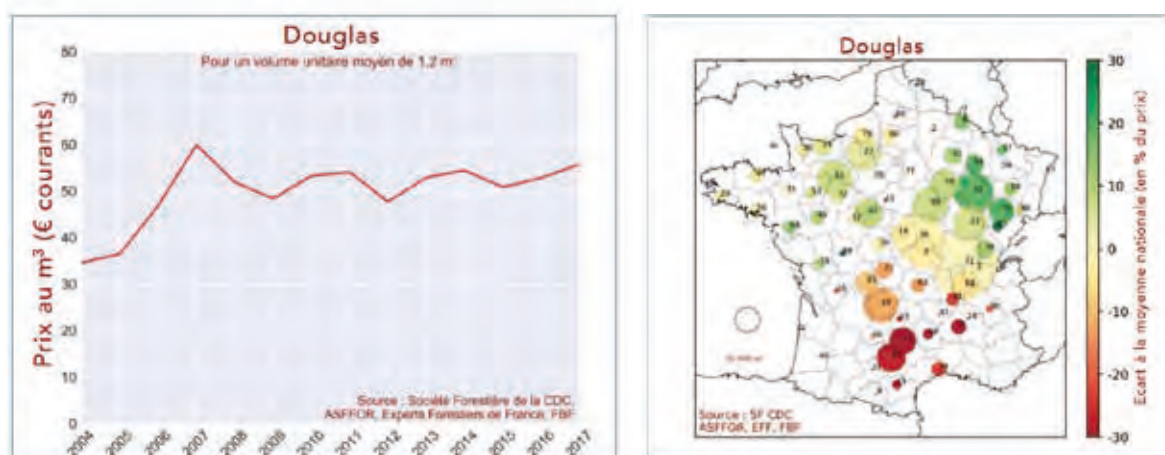
³ Association des sociétés et groupements fonciers et forestiers.

Figure 1 - Évolution du cours du chêne entre 2004 et 2017 pour un volume unitaire de 1,7 m³.



La hausse de prix concerne toutes les catégories de volume et qualité.

Figure 2 - Évolution du cours du douglas pour un volume unitaire moyen de 1,2 m³



Les marchés du douglas et du pin maritime tirent les autres essences, seul le pin sylvestre baisse.

Le marché des forêts

Stabilité du prix moyen en 2017 : 4 110 €/ha
Le marché des forêts est étroit avec une valeur globale proche de 1,5 milliard d'euros pour une surface de 130 900 ha en surface. Le marché reste déséquilibré entre le faible nombre de vendeurs, notamment dans les forêts de 50 ha sans bâti face à une demande soutenue d'acheteurs en recherche d'un actif-valeur refuge.

Le prix moyen est seulement indicatif, car il s'agit d'une moyenne statistique pondérée des extrêmes ; 90 % des transactions se situent entre 630 €/ha et 12 200 €/ha et 5 % en dessous ou au-dessus. Une transaction est le fruit d'une négociation entre une estimation d'une valeur « capital » composée des différentes variables factuelles comme le sol et ses potentialités de production, le peuplement sur pied, la desserte, l'accessibilité du massif et une valeur plus immatérielle comme la chasse ou le loisir. Il en résulte une distorsion importante avec une surcote d'environ 20 à 30 % pour la

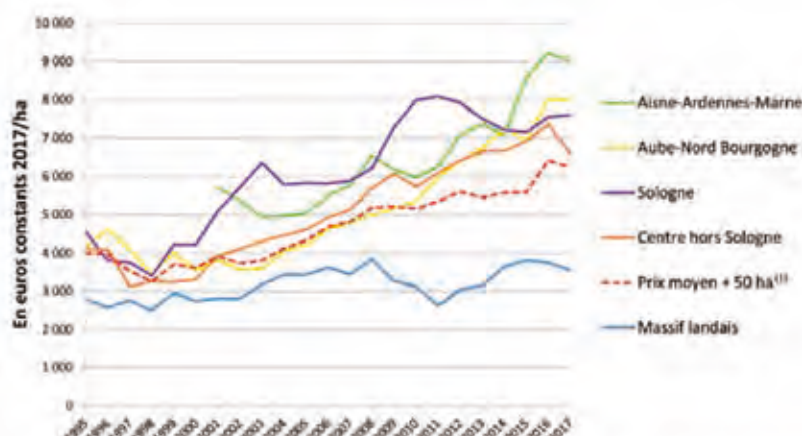
valeur vénale. L'évolution en valeur réelle (hors inflation) est globalement stable depuis 2011 à 4 000 €/ha. Entre l'année basse de 1996 et 2017, la progression est de 48 % soit un gain annuel moyen de 1,9 % ; néanmoins ce prix moyen représente les 2/3 du prix de 1981. Entre 2015 et 2017, les surfaces vendues s'intensifient pour les régions du Sud-ouest et du Centre.

Suivant les régions, l'Est et l'Ouest enregistrent des hausses comparables de 7 et 8 % ; la région PACA est plus volatile en raison de la pression foncière. Cependant les fortes variations régionales reflètent la variation des forêts vendues d'une année sur l'autre.

La surface totale vendue progresse de + 9 % avec 130 900 ha vendus (+10 900 ha), tirée par le marché des forêts de + de 100 ha. Le dynamisme du marché des petites forêts augmente le nombre de transactions en 2017 à 18 470 (+ 5,5 %). La valeur du marché approche 1,5 milliard € (+ 3,3 %), hausse essentiellement due aux forêts comportant du bâti.

Figure 3 - Évolution en valeur constante du prix moyen des forêts non bâti de plus de 50 ha par ensemble géographique entre 1995 et 2017.

Les prix des grandes forêts sont toujours les plus élevés.



(1) Le prix moyen correspond au prix moyen des forêts non bâties de plus de 50 ha vendues dans les départements considérés sur la Carte 1 « Ensemble géographique des forêts de plus de 50 ha » ; il ne s'agit pas d'un prix moyen national calculé sur l'ensemble des ventes forêts de plus de 50 ha. Les forêts non bâties de plus de 50 ha représentent en 2017, 220 transactions pour 27 600 ha et 168 millions d'euros
Source : Terres d'Europe-Scafr d'après Safer

Des grandes forêts aux prix toujours élevés

Le prix des forêts est notamment soutenu par un marché foncier en hausse et également influencé par des taux d'intérêt bas. Le prix sur 3 ans des forêts sans bâti de + de 50 ha se situe à 6 250 €, avec des prix élevés dans les régions de l'Aisne-Ardenne-Marne à 9 010 €. L'ensemble Aube — Nord Bourgogne enregistre la plus forte progression depuis 2003 à 8 020 €. Les forêts résineuses du massif landais sont les plus abordables à 3 540 € ; à la suite des tempêtes, notamment Klaus en janvier 2009, leur prix a remonté entre 2011 et 2015 du fait de l'évolution sur le prix des sols et la reconstitution du massif landais.

38 % des surfaces sont acquises par des personnes morales privées (agricole, forestière, institutionnelle, banque, assurance, etc.) pour 49 200 ha acquis, dépassant les particuliers non agricoles (47 200 ha en 2017). Les règlements de succession d'indivisions sont présents pour 27 % du marché pour 34 500 ha. Les particuliers augmentent leur activité en 2017 à la vente et à l'achat.

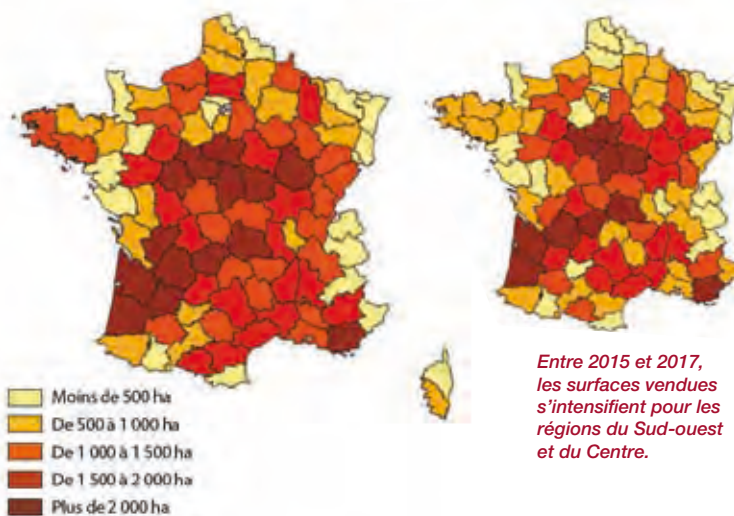
Depuis 2007, les transactions de forêts de petites surfaces progressent de 52 % en nombre et de 51 % en surface. La recherche de parcelles boisées pour un approvisionnement en bois de chauffage ou un usage de loisirs explique cette tendance.

L'instauration du droit de préférence, au bénéfice des propriétaires forestiers voisins d'une parcelle boisée en vente de moins de quatre

Figure 4 - Surface totale du marché des forêts en 2017.

Total 2017 : 130 900 ha

Total 2015 : 109 300 ha



Entre 2015 et 2017, les surfaces vendues s'intensifient pour les régions du Sud-ouest et du Centre.

Source : Terres d'Europe-Scafr d'après Safer

hectares, n'a pas vraiment influé ce marché. Néanmoins, le plafonnement⁴ des émoluments des notaires sur les ventes de petites parcelles forestières de forêts, ainsi que l'application du « droit de préférence » devraient faciliter la restructuration du foncier et réduire le morcellement forestier.

Le nouveau site lafortetbouge.fr offre un service gratuit de bourse foncière⁵ pour les parcelles en vente par secteur et description du peuplement. Une visibilité nationale des transactions possibles est facilitée avec une prise de contact en toute discrétion. ■

⁴ Loi n° 2015-990 du 6 août 2015 pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques, effective depuis le 28/02/2016 : les émoluments sont limités à 10 % du montant du bien avec un minimum de 90 euros.

⁵ Focus sur un service : une bourse foncière à l'échelle nationale ; Le Néma C., 2018. Forêt-entreprise, n° 240 p. 34-35.

Phytophthora ramorum, premier foyer sur mélèze du Japon en France

Par Morgane Goudet, Claude Husson, François-Xavier Saintonge, Département de la santé des forêts,
Xavier Grenié, CRPF Bretagne - Correspondant-observateur,
Laurence Roche, ONF - Correspondante-observatrice

En 2017, le premier cas de Phytophthora ramorum en milieu naturel a été identifié sur mélèze en Bretagne. Une surveillance active du foyer par le Département de la santé des forêts est en place.

Situation avant la découverte en France en milieu forestier

Phytophthora ramorum est un pathogène probablement originaire d'Asie du Sud-Est et introduit en Amérique du Nord et en Europe. En Californie, il est responsable depuis les années 1990 de la mort brutale de centaines de milliers de Fagacées¹ (*Sudden Oak Death*), notamment *Quercus agrifolia* et *Notholithocarpus densiflorus* (chênes californiens).

¹ Châtaignier, chêne, hêtre.

La liste des espèces touchées par *P. ramorum* est très longue (environ 150 espèces) et en constante évolution.

En Europe, il a tout d'abord été signalé en pépinières surtout sur rhododendron, viorne et camélia en Allemagne, aux Pays-Bas, puis en Angleterre et en France en 2002. En raison de l'ampleur des dégâts en forêt en Californie, *P. ramorum* a été classé comme organisme de quarantaine en Europe et soumis à éradication. Des mesures d'urgence pour lutter contre sa propagation dans l'Union Européenne en milieu naturel ont été prises par décision communautaire et un plan de surveillance annuel a été déployé sur le territoire.

Jusqu'en 2009, partout en Europe, la maladie est restée anecdotique hors pépinières. *P. ramorum* est détecté seulement sur des massifs de rhododendrons dans le sud de l'Angleterre et quelques arbres (hêtre, chêne) localisés à proximité de rhododendrons très infectés, sans causer de réels dommages. La maladie semblait ainsi présenter peu de danger pour les forêts européennes. Puis, *P. ramorum* a été découvert sur mélèze du Japon (*Larix kaempferi*) en Angleterre en 2010 dans les Cornouailles.

Cette détection était une première sur résineux, le mélèze ne faisait pas partie de la liste des hôtes identifiés comme potentiellement sensibles. Ce changement mettait en avant un pouvoir pathogène imprévisible et une forte agressivité sur *Larix kaempferi*. Entre 2010 et 2017, 20 000 ha de mélèzes infectés ont été



C. Husson © DSF

Dépérissements
sur des mélèzes de
Sizun (Finistère).



Les mélèzes
dépérissants de la forêt
domaniale de Saint-
Cadou en Finistère.

enregistrés au Royaume-Uni, dont la plupart ont été coupés pour tenter d'éradiquer le pathogène. Cette découverte constituait un risque nouveau et fort pour la France, puisque le mélèze du Japon est présent sur le territoire. De plus, cette essence constitue à la fois un bon hôte terminal et foliaire. En effet, de forts taux de mortalité sont observés chez le mélèze du Japon (hôte terminal). Par ailleurs, ses aiguilles sont très productrices de spores infectieuses (hôte foliaire). Elles constituent ainsi un fort potentiel épidémique en disséminant efficacement la maladie en milieu naturel mettant en danger le mélèzin à proximité, mais aussi d'autres hôtes potentiellement sensibles comme le châtaignier. Cette dernière espèce, très présente dans la zone à risque de *P. ramorum*, est en effet sensible (feuilles et tronc) et mérite une attention particulière. Par ailleurs, le seuil de sensibilité du mélèze d'Europe et du mélèze hybride n'est toujours pas clairement élucidé.

Premier foyer en France

En 2015 et 2016, des symptômes sont repérés dans un peuplement de mélèzes à Sizun, dans le Finistère, en forêt domaniale de Saint-Cadou et en mai 2017, *P. ramorum* est officiellement détecté sur aiguilles et rameaux.

Les aiguilles des mélèzes sont rougissantes, flétries et anormalement petites. Des écoulements de résine, des mortalités de branches et des descentes de cimes marquent les houp-piers. Dans ce massif forestier, certaines parcelles présentent environ deux tiers d'arbres infectés et 10 à 15 % de morts.

P. ramorum a été classé comme danger sani-

taire de première catégorie par arrêté ministériel de 2014, ce qui implique notamment une gestion active du foyer. Tous les peuplements de mélèzes de la forêt de Saint-Cadou (24 ha) ont été exploités (3 700 m³ transformés en pellets et écorces incinérées).

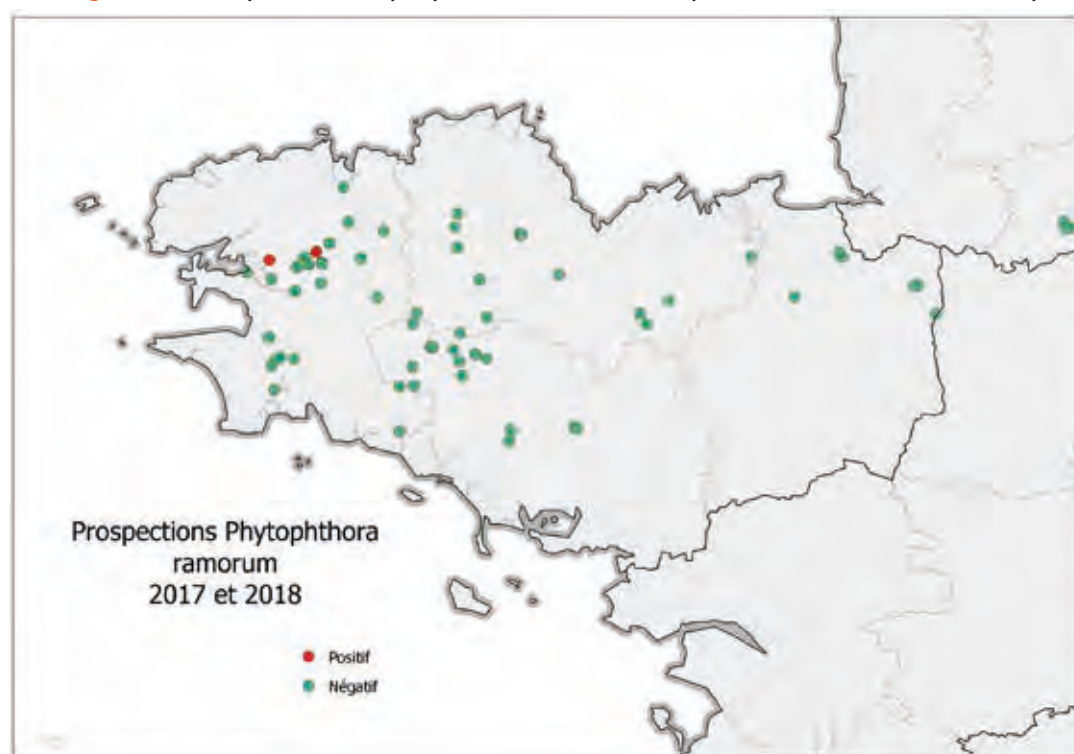
Une surveillance pour mieux appréhender le foyer

Dès mai 2017, le pôle de la santé des forêts Nord-Ouest a réalisé un état des lieux des peuplements de mélèzes du Japon, d'Europe et hybride en Bretagne et un deuxième foyer a été découvert à Hanvec, foyer exploité fin 2017 (450 m³).

Le même travail de prospection est lancé en 2018 par le DSF dans les régions à risque potentiel, c'est-à-dire le littoral ouest et le Limousin où le mélèze hybride constitue la deuxième essence de reboisement. L'objectif est double. D'une part, il s'agit de repérer précocement de nouveaux foyers pour les éradiquer. Au-delà du statut de quarantaine de *P. ramorum*, la situation est jugée favorable pour enrayer la maladie par coupe et éradication : les foyers sont peu nombreux, isolés et sur de petites surfaces. Le deuxième objectif est d'enquêter sur le niveau de sensibilité des mélèzes d'Europe et hybride, espèces largement plantées aujourd'hui.

Pour cela, environ 150 peuplements de mélèzes seront visités pour observer l'état sanitaire des arbres et prélever des échantillons pour un diagnostic. En parallèle, des aiguilles

Figure 1 - Prospection des peuplements de mélèzes (données DSF 2017 et 2018)



de la litière sont collectées dans chaque site. Des dispositifs expérimentaux de capture de spores testés en octobre 2017 ont en effet montré qu'il est possible de détecter *P. ramorum* dans les aiguilles tombées au sol en automne dans des sites dépérissants, mais aussi dans les sites où les symptômes dans le houppier ne sont pas visibles.

Cette méthode constitue donc un bon outil de détection précoce.

Des études pour mieux connaître le pathogène

Un projet a été lancé avec l'Inra et l'Anses pour enrichir les connaissances sur l'épidémiologie de la maladie dans le contexte paysager et



Symptômes sur des aiguilles de mélèze : roussissantes, flétries et anormalement petites (juin 2016).

climatique de la France. Dans un premier temps, l'objectif est d'améliorer les méthodes de détection précoce de l'agent pathogène, étape cruciale pour gérer les foyers. Dans un deuxième temps, il s'agit d'étudier la dissémination spatiale de la maladie (air et cours d'eau) à partir des foyers, d'investiguer les réservoirs d'inoculum sur plantes-hôtes, notamment du sous-étage et enfin de mieux définir les zones à risques en France en fonction de la flore et du climat. Par ailleurs, une saisine de l'Anses² permettra d'avancer sur la question de la sensibilité des différents hôtes et notamment des mélèzes hybride et d'Europe.

Recommandations pour les gestionnaires forestiers

Il est recommandé de rester particulièrement vigilant vis-à-vis de tous les symptômes suspects, qui seraient constatés sur mélèze et châtaignier (nécroses foliaires, chancres/nécroses sur l'écorce, rougissements et flétrissements d'aiguilles, mortalité de branches). Le correspondant-observateur local du DSF (en général agent du CRPF ou de l'ONF) doit être prévenu à la moindre alerte.

De plus, de bonnes pratiques sont à mettre en place en pépinières pour éviter de favoriser le phytophthora qui affectionne l'eau pour se développer et se disséminer.

Le problème est sérieux pour les sylviculteurs de mélèzes, cependant il convient d'éviter tout affolement dans l'état actuel des choses. La situation est assez différente de celle de la Grande Bretagne où les étendues de peuplements monospécifiques de mélèze du Japon sont importantes. Les premiers foyers français sont limités et concentrés dans le Finistère ; la surveillance de terrain est renforcée. On évitera toutefois, jusqu'à ce que la situation soit plus claire (notamment vis-à-vis de la sensibilité des mélèzes d'Europe et hybride et des modes de dispersion), d'introduire dans la moitié ouest de la France ces essences sur de trop grandes surfaces ou en parcelles contiguës. ■

Information sur le [site de la santé des forêts](http://agriculture.gouv.fr/le-departement-de-la-sante-des-forets-role-et-missions) :

² Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

SEPTEMBRE

27 et 28 septembre en Nouvelle-Aquitaine

Journées nationales InterCetef 2018

Les nouvelles technologies au service de la gestion forestière

Les prochaines rencontres du réseau national de développement de la forêt privée auront lieu les 27 et 28 septembre 2018 en Nouvelle-Aquitaine.

Les nouvelles technologies apportent de nombreuses innovations pour améliorer la gestion forestière :

- nouveaux moyens d'inventaire forestier : lidar terrestre, lidar aérien, drone, télédétection...
- logiciels de gestion forestière avec la cartographie, le suivi des coupes et travaux, comptabilité, fiscalité...
- applications sur tablette pour les diagnostics de terrain : reconnaissance floristique, santé des arbres, données dendrométriques...
- Internet forestier : s'informer et se former en ligne...
- outils d'assistance et de simulation : martélosopes virtuels, jeux de gestion forestière...

Retrouvez les InterCetef précédents sur la page du groupe de progrès de la forêt privée :

<https://www.foretpriveefrancaise.com/n/le-groupe-de-progres-de-la-foret-privee/n:537/>

19 au 21 septembre - Bordeaux

Assises nationales du douglas

L'association France Douglas organise la 3^e édition des Assises nationales du douglas, après celles de 2004 et 2012. L'avenir du douglas sera abordé avec les dernières évolutions de la filière, dont l'amélioration génétique, les itinéraires de sylviculture, les produits de construction. Créée en 1993, France Douglas rassemble des professionnels autour de résineux, sur des thématiques telles que la normalisation, la recherche ou encore des actions collectives relatives à cette essence.

Informations par courriel : contact@france-douglas.com ou sur le site : www.france-douglas.com

OCTOBRE

8 octobre 2018 - Paris

Inventaire forestier

L'IGN et le GIP* Écofor (Écosystèmes forestiers) organisent un colloque « 60 ans d'inventaire forestier pour éclairer l'avenir » au ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation à Paris. Le programme retracera les évolutions : de la forêt métropolitaine, des techniques de l'inventaire forestier au fil des années pour répondre aux enjeux croissants liés notamment aux différents usages du bois, aux risques et changements climatiques, à la biodiversité, au carbone, aux services écosystémiques, à la bio-économie.

Renseignements sur les sites :

www.ign.fr ou www.gip-ecofor.org/

* groupement d'intérêt public

11 et 12 octobre

Colloque Pro Silva France - Strasbourg

Le colloque Pro Silva France se tiendra les 11 et 12 octobre à la Maison de la Région à Strasbourg avec le thème « La sylviculture à couvert continu, un passé lointain, un présent certain, un futur serein ». Renseignements et inscription sur :

www.colloque-prosilva.com/

11-16 octobre

Festival Woodrise - Bordeaux

L'institut technique FCBA, le Codefa et le pôle de compétitivité Xylofutur organisent du 11 au 16 octobre le 1^{er} festival Woodrise en Nouvelle-Aquitaine pour mettre le bois en valeur dans la ville. Une trentaine d'activités grand public et pour les professionnels est proposée pour mettre en avant les enjeux actuels de la construction bois, sous un angle pédagogique et technique à la fois.

Renseignements sur : festival.woodrise.org

* Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction et ameublement. Comité de développement filière forêt bois aquitaine. Association Xylofutur Produits et matériaux des forêts cultivées.

Les sols forestiers

François Charnet

Les sols forestiers

François Charnet

Fruit de l'expérience d'un pédologue « de terrain », ce manuel pratique et technique apprend à « lire » les sols forestiers et, à la lumière de travaux récents, donne quelques règles de bonne gestion pour bénéficier de leurs potentialités de production sans affecter sur la durée leurs qualités fondamentales. Enrichi de nombreux schémas, photos et tableaux synthétiques, il ambitionne d'être un guide pour la compréhension de cet objet singulier - à la fois commun et mal connu qu'est le sol forestier, milieu de croissance et « garde-manger » des arbres (en eau et éléments nutritifs), mais aussi écosystème majeur des zones tempérées.

Cet ouvrage propose de former à la fois les non-spécialistes et des utilisateurs plus exigeants par deux niveaux de lecture qui permettent d'une part d'acquérir les bases, d'autre part d'enrichir et d'approfondir ses connaissances :

- Un guide pour connaître les sols, savoir les décrire, et comprendre leurs principales caractéristiques. Il propose une synthèse de la pédologie naturaliste issue de la typologie des stations forestières (mettant à contribution les plantes indicatrices et une interprétation qualitative des formes d'humus) et une pédologie plus analytique dont sont exposés les concepts de base.
- Un guide pour assimiler les codes et les règles d'une gestion des sols forestiers qui préserve et optimise les potentialités du sol.
- Une revue commentée de quelques types de sols communs du territoire français, qui révèle la variété et la diversité de la couverture pédologique française.

160 pages, 21 x 29,7 cm

Illustré de nombreux schémas, dessins, cartes, graphiques, tableaux, photos.

Prix : **35 €**

ISBN : 978-2-916525440

Réf : ID091

Public : pédologues novices, sylviculteurs, gestionnaires et experts forestiers, techniciens forestiers, animateurs et formateurs (Fogefor, Cetef, CFPPA), étudiants en foresterie ou en environnement, naturalistes.

L'auteur : ingénieur des techniques horticoles et du paysage de formation, il est titulaire d'un DEA en Sciences Forestières (Université de Nancy) et d'un doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon. Il est membre de l'Association Française pour l'Etude du Sol depuis 1984.

BON DE COMMANDE

À retourner au CNPF-IDF - 47 rue de Chaillot - 75116 Paris

Tél : 01 47 20 68 39 - Fax : 01 47 23 49 20 - idf-librairie@cnpf.fr

Nom/Prénom

Adresse

Code postal Commune

Tél..... Courriel.....

☐ Je commande **Les sols forestiers** au prix de **35 €** + frais d'envoi pour 1 ou 2 ex. : 7,50 €, 3 à 9 ex. : 9,50 €

☐ Je commande **Les sols forestiers + sa version numérique*** au prix de **45 €** + frais d'envoi

☐ Je commande **Les sols forestiers** en version numérique* au prix de **26 €**

* Merci d'indiquer votre courriel afin de recevoir votre code d'accès pour accéder à l'application numérique

Chèque bancaire ou postal à l'ordre de "agent comptable CNPF"

Règlement par virement : IBAN : FR76 1007 1750 0000 0010 066 428 SWIFT (BIC) : TRPUFRP1

Pour commander en ligne www.foretpriveefrancaise.com



« Librairie des forestiers »



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

sur votre ordinateur par le lien <http://www.bit.ly/1095gxU>