STAGES IDF du 2^e semestre 2020



Le service Formation de l'IDF répond aux exigences du décret Qualité. Il est référencé sur Datadock, la plateforme des organismes financeurs de la formation continue. Au-delà de ce référencement, nous nous engageons vers une amélioration continue de la qualité de nos stages.

Nous mettons tout en œuvre pour vous accueillir dans nos prochaines formations dans les meilleures conditions. Leur tenue sera fonction de l'évolution du COVID-19.

ı		Ges	Gestion - Sylviculture				
	Réussir ses plantations forestières *	Module 1* Bien préparer une plantation	A. Depaix et E. Ulrich, ONF; J. Fiquepron, IDF	Nancy (54)	29 septembre - 2 octobre 3,5 jrs		
		Module 2* Bien choisir et planter des plants de qualité	S.Girard, IDF; J. Conche, ONF; un pépiniériste reboiseur, un expert du Département santé des forêts	Peyrat-le- Château (87)	17 - 19 novembre - 3 jrs		
	_	Module 3* Bien entretenir une plantation	A. Depaix, ONF ; J. Fiquepron, IDF	Nancy (54)	Reporté – 3 jrs		
	Jsage di Forêt-Gi	u Guide pratique de l'équilibre bier	P. Brossier, CRPF; D. Pierrard, Ecole de Belval; C. Launay, Domaine du Bois Landry	Champrond-en- Gâtine (28)	13 - 15 octobre - 2,5 jrs		
			A. Depaix, ONF; M. Baumeister, CRPF; J. Becquey, IDF	Alsace	23 - 25 septembre – 2 ou 2,5 jrs à la carte		

^{*} Parcours de formation « Réussir ses plantations forestières » co-organisation IDF-Inra-ONF. Bien qu'il soit fortement recommandé de les suivre tous, chaque module peut être réalisé sur plusieurs années.

Diagnostic						
Nouveau : Les enjeux de la santé des forêts	FX. Saintonge, DSF; P. Riou-Nivert, IDF; J. Rosa, CRPF	Orléans (45)	1 - 2 octobre - 2 jrs			
Diagnostiquer le dépérissement du chêne avec la méthode ARCHI	G. Sajdak, IDF ; B. Lacoste, CRPF	Normandie	2 - 3 décembre - 2 jrs			
Diagnostic des sols et applications forestières	T. Brusten, IDF ; JM. Boissier, pédologue	Florac (48)	15 - 18 septembre – 3 jrs			
Dégradation physique des sols forestiers : évaluation du risque et mesures d'aménagement	J. Fiquepron, IDF ; P. Ruch, FCBA	Charrey-sur- Saône (21)	4 - 5 novembre - 2 jrs			

Droit et fiscalité							
Les projets carbone forestier en pratique	S. Martel et O. Gleizes, IDF; T. Néquier, CRPF	Cussac (87)	16 - 17 septembre - 2 jrs				
Constituer et gérer un groupement forestier	N. Rondeau, Fransylva; A. de Lauriston, CRPF	Rennes (35)	1 ^{er} - 2 décembre - 2 jrs				
Associations syndicales, ASGF et GIEEF : mode d'emploi	L. Depeige, CNPF; M. Gizard, Avocat	Voiron (38)	4 - 5 novembre - 1,5 jrs				
La fiscalité en forêt : mode d'emploi	L. Depeige, CNPF ; J. Hubelé, CRPF	Lempdes (63)	Reporté - 2 jrs				

	Faune – Flore		
Il es chironteres et la destion torestiere	L. Tillon, ONF ; M. Lauer, CRPF	Rambouillet (78)	13 - 16 octobre - 3,5 jrs

N'hésitez pas à nous contacter.

Renseignements et inscriptions auprès de Christine Clémente : 02 38 71 91 14 - idf-formation@cnpf.fr

Retrouvez toutes les informations mises à jour sur notre site www.foretpriveefrançaise.com, rubrique Services et formation.



N° 252

Institut pour le développement forestier/ Centre national de la propriété forestière 47 rue de Chaillot, 75116 Paris Tél.: 0147206815 idf-librairie@cnpf.fr

Directeur de la publication
Antoine d'Amécourt
Directrice de la rédaction
Claire Hubert

Rédacteur François Clauce

Conception graphique Mise en page Sophie Saint-Jore

Responsable Édition-Diffusion Christine Pompougnac

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 2020 France: 50 € - étranger : 63 € édité par le CNPF-IDF

Commission paritaire des publications et agences de presse: n° 1024 T 08072

ISSN: 0752-5974

ISSN: 0752-5974 Siret: 180 092 355 004 52

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

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

Dépôt légal: mai - juin 2020









Le forestier est habitué à lever la tête pour admirer la beauté de ses arbres et le développement de leur houppier. C'est aussi un bon critère pour décider s'il faut intervenir. Mais il a moins souvent le réflexe d'examiner son sol pour savoir si les essences présentes dans sa forêt sont adaptées aux conditions. Pourtant c'est un élément indispensable pour ajuster la gestion aux potentiels de croissance ou permettre la germination des futurs producteurs. Il faut en prendre soin pour ne pas l'appauvrir, lui permettre de restituer une partie de l'eau aux arbres et les nourrir, pour y maintenir le développement d'un nombre impressionnant d'habitants au mètre carré. Oui, cette vie participe à la décomposition de la matière organique et donc au renouvellement du sol. La présence d'abatteuses et autres débardeurs fait peur à nos concitoyens, de même que la récolte de bois pour se chauffer. Des études sont menées sur leurs impacts avec les scientifiques et faire connaître.

Nous vous livrons ce numéro alors qu'un grand nombre de pays est impacté par le Covid-19. Cela a des conséquences importantes dans notre vie de tous les jours, nos relations, nos habitudes, notre façon de travailler... Certains ont perdu des amis ou des proches. Le CNPF poursuit une grande partie de ses activités tout en respectant les précautions en vigueur. Je remercie toute l'équipe du service édition-diffusion, les auteurs des articles mais aussi notre imprimeur et le routeur qui se sont mobilisés pour vous permettre de recevoir votre revue avec le moins de retard possible.

Enfin, je souhaitais rendre hommage à Philippe de Boissieu. Il a consacré une grande partie de son temps en forêt et dans les instances de la forêt privée, toujours avec fougue et exaltation. Thomas Formery et Eric Paillassa en parleront mieux que moi. Il connaissait très bien les caractéristiques de ses sols sur ses propriétés et plantait beaucoup par parquets monospécifiques des essences à croissance rapide (impossible de lui faire planter du chêne!). Je le taquinais en lui disant qu'il était un pionnier de la futaie irrégulière et mélangée à l'échelle de la parcelle... Homme de passions, il a participé à la construction de nos organismes et à leur défense dans les moments difficiles avec un objectif, des ingénieurs et techniciens pour former et informer les propriétaires forestiers. Merci Philippe.

Eric Sevrin, directeur de l'Institut pour le développement forestier

N° 252

SOMMAIRE

Avec l'aimable autorisation de Julie Béal. Graphisme & photo : www.juliebeal.com https://www.instagram.com/ju.li.beal/

Parmi la faune du sol, les vers de terre sont les ambassadeurs des « ingénieurs physiques » jouant un rôle essentiel sur la structuration des sols et la distribution des ressources.

Numéro suivant N° 253 Le douglas

ACTUS > 4
HOMMAGE > 6
PHOTO À L'HONNEUR > 65





CNPF

>

Les mousses, les lichens et les fougères

Franck Massé

COLLOQUE

[>] 12

Quelles forêts voulons-nous demain?

François-Xavier Valengin

COLLOQUE

> 16

Concours photographique du colloque

François Clauce

SYLVICULTURE

> 50

La forêt en Galice : Retour d'expérience Catherine Fournil

ÉCONOMIE

53

Première pierre de l'usine *Garnica* à Troyes

François Clauce

RISQUE

55

Crise scolytes sur épicéas Bilan fin 2019

François-Xavier Saintonge

SYLVICULTURE

60

Quels intérêts et limites du mélange d'essences face aux changements globaux ?

Nathalie Korboulewsky, Philippe Balandier, Yann Dumas, Marion Gosselin, Anders Mårell, Thomas Perot

Dossier:

Au cœur des sols forestiers, préserver leur fertilité

- Au coeur des sols forestiers, préserver leur fertilité

 Julien Figuepron
- La fertilité des sols forestiers

 Partie 1 : définitions et concepts

 François Charnet
- La fertilité des sols forestiers

 Partie 2 : diagnostiquer et agir

 François Charnet
- Préserver la fertilité des sols forestiers

 Alba Departe
- Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie

 Guy Landmann
- Gestion durable et biodiversité des sols forestiers

 Cécile Nivet, Michaël Aubert et Matthieu Chauvat

Première partie

Que sait-on de la biodiversité forestière des sols et de ses rôles ?



Gestion durable et biodiversité des sols forestiers

Cécile Nivet, Michaël Aubert et Matthieu Chauvat Deuxième partie

Comment la gestion forestière agit-elle sur la biodiversité des sols forestiers ?

- 2 48 Panorama des articles sur la fertilité des sols
- Préservation des sols forestiers : les outils du CNPF

Actus

Continuité du service au CNPF et COVID

Suite à la décision de confinement prise par le Président de la République, les dispositions nécessaires à la sécurité des agents et à la continuité de service sont mises en place au CNPF. Ainsi, tous les sites de l'établissement sont fermés à l'accueil du public. Les agents travaillent à domicile dans le cadre du dispositif de télétravail généralisé. Les missions essentielles de terrain sont cependant maintenues en prenant toute les précautions nécessaires : surveillance sanitaire pour l'essentiel et suivi de placettes ne pouvant être reporté. Pendant la période de confinement, les agents du CNPF restent joignables par courriel ou sur leur téléphone portable.





Compte-rendu d'activités 2019 du CNPF

Le compte-rendu d'activités 2019 du CNPF est disponible sur le site du CNPF. Les actions des centres régionaux, les travaux de l'Institut pour le Développement Forestier, service de Recherche Développement, les temps forts de l'année et des infographies sur les résultats clés sont présentés dans ce document.

https://www.cnpf.fr/actualite/

Nominations au sein de l'équipe de direction

- Xavier Pesme est nommé Directeur général adjoint, (DGA), depuis le 1er février. Il succède à Gilles Brouillet, parti en retraite, pour la fonction de DGA, et à Jean-Marc Auban, en congé longue maladie, pour ses fonctions de Directeur chargé de la gestion durable, de la mobilisation et de l'économie du bois.
- Gaël Legros est nommé Directeur de la délégation Îlede-France - Centre Val-de-Loire à compter du 1^{er} avril 2020. Il était Directeur de l'action foncière au sein de la SAFER Île-de-France, et succède à Xavier Pesme.
- Vincent Videau est nommé Directeur administratif et financier à compter du 1er avril également. Il était Directeur de l'administration et des finances au sein de l'agence de l'eau Loire Bretagne. Il succède à Pascal Dubois, qui a fait valoir ses droits à la retraite et que nous remercions pour son engagement au sein du CRPF Limousin puis au CNPF.



Ouverture d'un BTSA Gestion forestière par apprentissage au CFA de la Germinière (Sarthe)

Depuis de nombreuses années, le Lycée agricole La Germinière dispense la formation BTSA Gestion Forestière, par la voie scolaire initiale, sur 2 ans. Ces dernières années, les étudiants ont signalé que l'apprentissage pourrait être une opportunité pour quelques candidats, motivés par l'alternance entre le centre de formation et l'entreprise ou l'organisme.

Après une réflexion conduite sur l'année 2019, avec l'équipe enseignante du Lycée, la direction du Lycée et du CFA, il est décidé de répondre à cette demande en proposant le BTSA Gestion Forestière par apprentissage à partir de la rentrée de septembre 2020.

Il sera conduit, sur 2 ans, à raison de 20 semaines de cours au CFA, 27 semaines en entreprise et 5 semaines de congés payés par an.

Les entreprises privées et les gestionnaires de massifs forestiers, sont des employeurs potentiels pour ce BTSA, avec les avantages du contrat d'apprentissage pendant 2 ans.

Contact: 02 43 47 07 55 ou courriel:

cfa.sarthe@educagri.fr; le site: www.eap72.fr

Le frêne face au défi de la chalarose, le 16 septembre 2020 à Dijon

Comment fonctionne cette maladie ? Comment gérer les peuplements atteints ? Comment réduire ses impacts ? Quels enseignements tirer de cette crise ?

Ces questions et bien d'autres seront traitées lors de ce colloque. Il clôturera les travaux du programme Chalfrax, mené en collaboration avec les partenaires de la filière forêt-bois pour faire face à la crise sanitaire de la chalarose. Réservez cette date!

Colloque organisé par le CNPF, grâce aux financements de France Bois Forêts, du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et de la région Bourgogne-Franche-Comté

En savoir plus : https://chalfrax.cnpf.fr



Un nouveau secrétaire général de l'UCFF

Monsieur Tammouz Eñaut Helou devient Secrétaire général de l'Union des coopératives forestières françaises – UCFF - en mars 2020. Ingénieur forestier ayant travaillé 16 ans au service des entrepreneurs de travaux forestiers (FNEDT), il aura en charge de traiter des sujets majeurs avec la filière forêt-bois française dans les prochains mois. Il représentera les coopératives forestières françaises auprès des différentes organisations politiques et professionnelles, sur des sujets économiques, écologiques et sociétaux majeurs.

l'Union des coopératives forestières

https://lescooperativesforestieres.fr/

Forêt-entreprise - Erratum

En page 49 du n° 249 de Forêt-entreprise (novembredécembre 2019), l'encadré en bas à droite présente le projet Redsurf et non le projet IGS comme indiqué.

En page 37 du n°251 de Forêt entreprise (mars-avril 2020), une erreur s'est glissée concernant la photographie de la figure 3 qui ne correspond pas à la légende.





CALENDRIER DES VENTES GROUPÉES ORGANISÉES PAR EXPERTS FORESTIERS DE FRANCE

Ventes Printemps 2020

RÉGION	LIEU DE LA VENTE	DEP.	DATE	HEURE	EXPERT COORDONNATEUR	DESCRIPTION DE LA VENTE
NOUVELLE AQUITAINE	Solignac	87	Décalée*		C. Riboulet	Feuillus
	Labouheyre	40	Décalée*		G. Duclos	Résineux
	Ussel	19	18/06/2020	09h30	S. Coudert	Résineux
	Ruffec	16	08/07/2020	14h30	F. Bechon	
AUVERGNE -	Celles-sur-Durolle	63	Décalée*		L. Detruy	Résineux
RHÔNE-ALPES	Davézieux	7	28/05/2020	09h00	N. Monneret	Résineux
	Propières	69	12/06/2020	09h00	T. Rocaboy	Résineux et feuillus
	Meylan	38	30/06/2020	17h00	JC. Thievenaz	
BOURGOGNE-	Chatillon-en-Bazois	58	09/06/2020	15h00	B. Goutorbe	Feuillus
FRANCHE-COMTE	Auxerre	89	11/06/2020	09h00	A. Janny	Résineux
	Champagnole	39	03/07/2020	17h00	J. Tomasini	Résineux
BRETAGNE	Carhaix	29	04/06/2020	14h30	F. Leblond	Résineux
CENTRE - VAL DE LOIRE	La Bussière	45	10/06/2020	14h30	I. de Chasseval	Feuillus et Résineux
	La Croix-en-Touraine	37	17/06/2020	14h30	E. Delaunay	Feuillus et Résineux
GRAND EST	Cirey-sur-Vezouze	54	17/06/2020	14h30	A. Haaz	Résineux sur pied
PAYS DE LA LOIRE	Ballon	72	08/06/2020	14h00	G. Cardot	Feuillus et Résineux
	Solesmes	72	25/06/2020	14h30	N. Bureau	Toutes essences
OCCITANIE	Mazamet	81	26/06/2020		F. Lejuez	Résineux
NORMANDIE	La Ferté-Fresnel	61	26/05/2020	14h00	M. Cappelaere	les lots résineux et de peupliers
HAUTS-DE-FRANCE	Pierrefonds	60	24/06/2020	14h30	JM. Peneau	

^{*} Merci de consulter notre site internet www.foret-bois.com

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

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.

 ${\bf D\acute{e}sormais, \, les \, \, Experts \, \, Forestiers \, \, de \, \, la \, \, CNIEFEB \, \, communiqueront \, \, exclusivement \, \, \grave{a} \, \, travers \, \, leur \, \, marque \, \, \alpha \, \, EFF \, \, a.}$

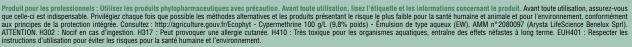
6, rue Chardin à PARIS 75016 - Tél : 01 40 50 87 34



Insecticide forêt, plantations et bois abattus

A CHOISI **ADKALIS**POUR SA DISTRIBUTION EN FRANCE









CONTACT:

Tél.: +33 (0)5 64 31 06 85 Email: commandes-adkalis@berkem.com f in 💆 🤉 🕨



Philippe de Boissieu nous a quitté le 24 février 2020

par Thomas Formery, Ancien directeur de l'IDF 1999-2016 et Eric Paillassa Ingénieur à l'IDF

Hommage de Thomas Formery

Figure du milieu forestier, très impliqué dans tout ce qui s'apparentait à l'innovation, il était en recherche permanente de solutions novatrices sur la gestion forestière, la conduite des peuplements forestiers, l'économie de la filière et la commercialisation des bois, avec un intérêt tout particulier pour la populiculture.

Pilier de l'Institut pour le développement forestier, infatigable et dévoué représentant des forestiers privés, il s'était investi dans les activités de recherche et développement pour rendre la sylviculture attractive sur les plans techniques et économiques. Il avait le souci de l'investissement juste, mais également que les bois vendus se valorisent le mieux possible, en apportant le maximum de valeur ajoutée aux producteurs.

Son rôle à l'IDF a été considérable.

L'Association Technique de Vulgarisation Forestière a été créée en 1960 dans le but de promouvoir, en forêt privée, des progrès analogues à ceux qui avaient été obtenus depuis dix ans par la vulgarisation agricole. Cette association est née de l'initiative de quelques organismes départementaux, principalement les Centres d'études techniques forestière, qui souhaitaient disposer d'une coordination à l'échelon national.

Le 25 juillet 1968, l'ATVF a demandé sa reconnaissance d'utilité publique et a, de ce fait, été amené à modifier ses statuts, pour :

- s'adapter à la situation créée par le nouvel environnement règlementaire qui remplaçait le concept de vulgarisation par celui beaucoup plus large de « développement » :
- se donner explicitement le titre d'Institut technique qu'elle était en réalité depuis sa création.

L'ATVF est ainsi devenue l'Institut pour le Développement Forestier. Ce changement de dénomination n'a pas modifié son rôle de coordination des CETEF et autres organismes de développement forestier.

Le CETEF de l'Oise faisait partie des Cetef fondateurs et, tout naturellement, son Président pendant de nombreuses années, Philippe de



Boissieu, s'est impliqué dans la vie et le fonctionnement de l'Institut, en tant qu'administrateur et responsable de groupes de travail dédiés. Toujours présent, prêt à répondre aux sollicitations, tant techniques que fonctionnelles, sa présence était familière dans les bureaux de l'avenue Bosquet.

Dans ce cadre, départemental avec le Centre d'études techniques forestières de l'Oise, et national avec l'IDF, Philippe de Boissieu a pu développer et faire connaître ses propositions et idées novatrices en matière de sylviculture, sur les différentes essences forestières présentes ou introduites par ses soins dans ses forêts. Les multiples dispositifs d'essais, d'expérimentation et de démonstration installés chez lui et suivi par ses soins avec le concours des ingénieurs de l'IDF et des techniciens du CRPF, attestent de son activité forestière.

Les nombreux visiteurs de ses forêts ont toujours été impressionnés par ses résultats, ses convictions et sa façon vigoureuse de les soutenir et les proclamer!

Qu'il soit ici remercié pour son engagement et ses apports à la cause forestière!



Hommage d'Eric Paillassa

M. de Boissieu, propriétaire averti et engagé pour la forêt privée, a toujours été un farouche défenseur de la technique et de la prise en compte des aspects économiques dans la gestion forestière. Pour lui, l'expérimentation était le meilleur moyen pour évaluer une technique sur des bases rigoureuses et solides. Ces expérimentations devaient avoir en particulier un volet économique pouvant justifier l'intérêt de la technique. Pour lui, une nouvelle technique était envisageable que si elle était économiquement viable. Il était convaincu que des marges de progrès existaient à tous les niveaux de la sylviculture, et que la forêt privée devait être innovante.

C'est pourquoi il s'est engagé très tôt dans les groupes de travail de l'IDF, comme le peuplier, qu'il a mis en place très tôt, mais aussi dans les groupes châtaignier, matériel végétal, noyer et pin laricio. Il savait que l'outil « groupe de travail IDF » permettait un lien technique fort entre des techniciens de terrain et des propriétaires avertis, qui ensuite feraient passer les messages dans les régions. Pour avoir travaillé avec lui plus de 18 ans à l'animation du groupe peuplier, il était très exigeant sur les messages et conseils à délivrer aux propriétaires : ces messages devaient être simples, compréhensibles et applicables par tous les propriétaires.

Il savait nous ramener à la réalité de terrain, quand parfois la technique et la science nous égaraient loin des préoccupations forestières des propriétaires.

Son engagement pour le progrès en forêt privée était aussi largement complété par la défense des intérêts des forestiers privée auprès d'instances administratives comme par exemple le Comité technique permanent de la sélection (CTPS), mais toujours avec sa fibre technique. Je me rappelle de réunions sur le peuplier au ministère de l'Agriculture souvent animés, mais toujours positives et à la recherche de solutions. Quand le gouvernement a supprimé en 2004 la Commission Nationale du Peuplier, commission d'État qui représentait la filière peuplier, il a créé le Conseil National du Peuplier (association loi 1901) car il jugeait indispensable que la filière peuplier soit représentée au niveau national. Je garderais en mémoire ce dernier message téléphonique de décembre, où il argumentait encore et toujours sur sa vision sur les densités de plantation en peuplier.

M. de Boissieu était une voix pour la technique, une voix pour le progrès, une voix pour la forêt privée, une voix que ceux qui l'ont connu n'oublieront jamais.

Les mousses, les lichens et les fougères Ces méconnus essentiels à la forêt

Par Franck Massé, CNPF-CRPF d'Île-de-France Centre - Val de Loire



En vente sur notre site:
https://www.
foretpriveefrancaise.
com/publications/
voir/745/lesmousses-les-lichenset-les-fougeres/n:541

Qui sont ces organismes ? Comment vivent-ils et se reproduisent-ils dans la nature ? Quels sont leurs rôles dans la forêt et leur utilité pour le forestier ? Autant de questions auxquelles tente de répondre ce nouveau guide du CNPF. L'auteur nous explique la place importante que ces groupes occupent dans l'écosystème forestier et la diversité des relations qu'ils entretiennent avec les autres communautés vivantes.

Les mousses et les lichens notamment, ne sont pas que de simples habitants des bois, mais de véritables microcosmes très organisés, ressource inestimable de diversité biologique. Ils sont présents partout : sur les arbres, les rochers ou à la surface du sol et hébergent de nombreux microorganismes indispensables aux cycles naturels.

Quelques notions d'anatomie

Les mousses, les lichens et les fougères sont des organismes cryptogames, c'est-à-dire dont la reproduction se fait de façon cachée. Les mousses sont des plantes vertes chlorophylliennes de petite taille (1 à 10 cm en moyenne) qui ne possèdent pas de tissus de soutien leur permettant de conquérir l'espace aérien.

Elles sont dotées d'une tige feuillée unique et simple, ramifiée à l'aspect d'un buisson ou bien encore étagée, à la façon d'un escalier.



Ptilium crista-castrensis ou mousse « plume d'autruche ».



Le Dryoptéris écailleux (Dryopteris affinis affinis).

Les fougères possèdent une tige plus élaborée et robuste, permettant à la plante d'atteindre plusieurs mètres de haut chez certaines espèces. Elles possèdent trois types d'organes communs aux plantes supérieures : des racines, une tige et des feuilles. Chez la plupart des espèces, la tige est souterraine et s'appelle rhizome, organe essentiel capable d'accumuler des réserves nutritives qui assureront le développement de la plante l'année suivante.





Les lichens : l'alliance réussie d'une alque et d'un champignon

Ces organismes résultent principalement de l'association symbiotique d'un champignon et d'une alque.

Le champignon impliqué dans la symbiose est très souvent un ascomycète, qui appartient à un groupe comprenant de nombreuses espèces utilisées par l'homme (levures de boulangerie, morille, truffe...). De son côté, le végétal associé est généralement une algue verte et/ou une cyanobactérie.

Les deux partenaires trouvent un bénéfice réciproque dans cette symbiose : le champignon absorbe les sucres produits par l'algue, la protège des conditions climatiques qui lui seraient fatales en cas d'exposition directe et lui fournit l'eau et les sels minéraux nécessaires à sa croissance.

Des façons étonnantes de se reproduire...

Dans la nature, les mousses, les lichens et les fougères se reproduisent de deux manières :

- par voie sexuée, en produisant des spores,
- par multiplication végétative (ou voie asexuée), c'est-à-dire par bouturage à partir de différents organes: feuille, thalle¹, rhizome...

Cette méthode est très efficace et particulièrement développée chez les lichens et les mousses.

Le lichen est un organisme « double »: pour germer sur son substrat (terre, écorce, rocher...), la spore du champignon doit s'associer à son partenaire symbiotique qui est une algue spécifique. Cette germination est assez aléatoire car elle dépend des conditions du milieu. Afin de pallier ce problème vital, les lichens ont développé des techniques étonnantes de dispersion par voie végétative. À l'état sec notamment, certains sont très cassants et libèrent des fragments qui pourront reformer un organisme identique.

Les fougères maîtrisent la reproduction par voie sexuée en produisant de très nombreuses spores (souvent plusieurs milliers sur un seul pied), situées sous leur fronde². Moins adeptes de la multiplication végétative, elles expérimentent néanmoins cette technique par leur rhizomes pouvant couvrir d'importantes surfaces.



Le lobaire large (Ricasolia amplissima).



Dessous de la fronde de l'Oreopteris à sores marginaux.

- 1 Appareil végétatif d'une plante, dépourvu de vaisseaux conducteurs et ne formant, de ce fait, ni racines, ni tiges, ni feuilles.
- ² Correspond à la feuille des fougères.

Leur extraordinaire diversité dans le milieu naturel

Les mousses.

des miniatures aux formes variées

En dépit de leur taille souvent réduite et de leur couleur verte dominante, les mousses ont développé d'ingénieuses techniques pour occuper l'espace, afin d'assurer leur descendance en nombre et d'optimiser leurs besoins en eau.

Des lichens de toutes les couleurs

Le dessin surprenant des thalles, mêlés aux couleurs chatoyantes et à l'allure insolite de certains organes, font des lichens des organismes d'une extraordinaire diversité.

Le milieu de vie influe également sur leur apparence et renforce ces caractères. Ainsi, certains sujets de couleur rouille se retrouvent plutôt sur des roches riches en fer ; d'autres ont un thalle vert en présence de cuivre. Sur les troncs des arbres, les lichens de teinte jaune-orangé peuvent quant à eux traduire une atmosphère riche en composés azotés.

À l'état humide ou à l'état sec : les caméléons des forêts tempérées !

Certaines espèces changent radicalement d'aspect en fonction de leur état d'humidité. Ce phénomène est lié à la nature des tissus conducteurs de la sève, plus rudimentaires que ceux des plantes à fleurs.



Cétérach officinal (Asplenium ceterach). Fougère à l'état sec.



Cétérach officinal (Asplenium ceterach). Fougère à l'état humide.



Lichen foliacé du genre Umbilicaria.

Des milieux de vie très variés

Leur résistance aux températures et aux sécheresses extrêmes, leur capacité à se développer sur la plupart des supports quelle que soit leur nature chimique, font **des lichens** des champions de l'adaptation aux contraintes du monde extérieur.

Les **mousses** sont aussi de vraies pionnières, capables de déshydratation puis de reviviscence même après une sécheresse prolongée. Supportant les milieux très exposés à la lumière, elles ont aussi la faculté de s'adapter à un éclairement très faible et peuvent donc s'installer dans des milieux où règne une quasi-obscurité.

Le monde de l'écorce : une véritable forêt sur l'arbre...

Le tronc des arbres est un milieu de vie aussi fascinant qu'insolite, par la diversité de la faune et de la flore qu'il héberge. Ce petit monde est un véritable écosystème dont les habitants connectés entre eux sont parvenus au cours des temps à établir des relations stables et durables, sur la base d'échanges et de bénéfices mutuels.

Leurs rôles dans l'écosystème forestier

Un habitat pour les premiers maillons de la chaîne alimentaire

Les mousses à la surface du sol et sur les troncs des arbres hébergent de nombreux êtres vivants nécessaires à la forêt, qui y trouvent refuge pour se protéger, se nourrir et s'y reproduire. Elles sont une source de nourriture pour les coléoptères, collemboles³, chenilles, pucerons et autres insectes en tout genre. A l'état de débris, elles alimentent les décomposeurs et la faune détritivore du sol (mille-pattes, cloportes, vers de terre...) qui les recyclent, puis les bactéries et les champignons. Grâce à leur structure, l'eau peut être emmagasinée puis redistribuée en période de

³ Petits animaux invertébrés vivant dans tous les milieux en contact avec le sol et se nourrissant principalement de végétaux en décomposition.







humide, fréquente en

montagne.

Climacie petit arbre (Climacium dendroïdes) mousse de milieu

Un formidable assemblage de lichens et de mousses sur tronc.

Nid de Pinson garni avec des morceaux de mousses.

sécheresse : ce sont des excellents isolants contre les changements brusques de température et d'humidité.

Les lichens à la base des cycles forestiers

Les **lichens** sont connectés à l'ensemble des communautés vivantes et tiennent une place importante dans les cycles naturels.

Ils constituent un refuge pour les insectes, les araignées et une foule de petits invertébrés qui serviront de garde-manger à de nombreux oiseaux insectivores durant la période hivernale (Sittelle torchepot, Bergeronnette, mésanges, Bruants, Rouge-gorge...), certains d'entre eux étant des auxiliaires efficaces contre les parasites forestiers.

Des indicateurs de la qualité du milieu naturel

Les lichens sont sensibles aux gaz polluants

Les lichens indiquent un niveau de qualité de l'air, notamment les pollutions causées par le dioxyde de souffre et les oxydes d'azote, responsables des pluies acides au début des années 1980. Ils sont également sensibles à l'ammoniac, ainsi qu'aux poussières fines en suspension et à l'ozone. La pollution atmosphérique a cependant évolué depuis les années 1980 : si les concentrations de dioxyde de soufre ont diminué, celles en azote



La Parmélie des murailles apprécie un habitat riche en azote.

ont augmenté et engendré la banalisation des espèces sur les troncs des arbres forestiers comme sur ceux des villes.

Les relations avec l'Homme et les animaux

Quelques usages anciens et actuels

Depuis la préhistoire, les hommes ont utilisé les mousses pour leurs propriétés mécaniques: confection de semelles, de matelas, calfeutrage des habitations, emballages des objets, pansements (sphaignes)...

Deux lichens sont principalement utilisés pour produire des huiles essentielles de parfum : *Pseudevernia furfuracea*, qui apporte des notes boisées variées, et la « Mousse de Chêne » (*Evernia prunastri*) qui donne des notes marines utilisées dans les parfums féminins.

Les fougères étaient également récoltées comme plantes fourragères pour le bétail. Aujourd'hui, elles ont surtout une vocation décorative et sont occasionnellement utilisées en maraîchage (paillage des sols, purins).

Les mousses, les lichens et les oiseaux

De nombreuses espèces d'oiseaux utilisent les mousses et les sphaignes pour confectionner et garnir leur nid. Ces végétaux sont confortables, isolants et ont des propriétés antimicrobiennes.

Quelques espèces indicatrices des milieux et utiles au forestier

Qu'est-ce qu'une plante indicatrice ?

Une espèce végétale indicatrice est une plante facilement reconnaissable, dont la présence spontanée fournit des informations sur les conditions du milieu naturel (caractéristiques chimiques et texture du sol; relief, exposition, humidité de l'air, bilan en eau du milieu, ...). Le guide présente une quarantaine d'espèces indicatrices et caractéristiques des principaux milieux naturels forestiers rencontrés en France métropolitaine.

Résumé

Les mousses, les lichens et les fougères sont méconnus bien qu'omniprésents dans nos forêts. Ce guide, très riche en photos, rappelle leurs spécificités et leur extraordinaire diversité, avant d'en présenter les rôles et intérêts pour le milieu naturel. Il fournit également des conseils de gestion pour préserver ces végétaux essentiels au bon fonctionnement de nos forêts.

Mots-clés: cryptogame, écosystème forestier, indicateur écologique.

Quelles forêts voulons-nous demain?

Retour sur le colloque organisé à Lille le 21 mars 2019

par François-Xavier Valengin, CRPF Hauts-de-France

Le colloque du 21 mars organisé dans le cadre du dossier interrégional « Forêt Pro Bos » et intitulé « Quelles forêts voulons-nous demain ? » a rassemblé plus de 250 personnes au siège du Conseil régional Hauts-de-France à Lille. Les différents intervenants ont souligné le fossé grandissant entre la perception de la forêt par le grand public et les actes de gestion, dont les coupes de bois, souvent remises en cause par les riverains des forêts concernées. Cet article reprend les points forts des exposés des différents conférenciers et ne permet pas encore d'épuiser ce vaste sujet pour lequel la rédaction envisage de dédier prochainement un dossier complet.

ans les enquêtes d'opinion menées au niveau européen, la production de bois, comme la création d'emplois dans la filière, sont des réalités que les personnes sondées ignorent ou sous-estiment très largement, et ce dans la plupart des pays membres. En France par exemple, la coupe de bois est perçue comme facteur d'entretien des forêts par 1/3 des personnes, mais pour un quart des sondés, la coupe d'arbres détruit la forêt. Pourtant, en dehors de l'aspect économique, la gestion de la forêt est nécessaire, ne serait-ce que pour faire face aux changements climatiques en cours et aux problèmes sanitaires, tempêtes et autres accidents qui

perturbent le milieu forestier. Une gestion adaptée peut améliorer la biodiversité. Face à ce dilemme, il est plus que nécessaire de relater la réalité de la gestion forestière car le lien qui unit utilisation du bois et forêt semble rompu. Comme le soulignait Pascal Triboulot, l'un des intervenants : « on naît pourtant dans un berceau (en bois) et meurt dans un cercueil (souvent en bois aussi) ». La forêt française croît en surface et en volume mais la récolte stagne en dépit des multiples plans qui, depuis plus de 40 ans, prônent une plus grande mobilisation de la ressource. Il est pourtant plus que jamais nécessaire de « mettre la forêt au cœur des transitions écologiques, économiques, sociales et territoriales » comme l'affirmera Hervé Le Bouler, responsable du réseau Forêt chez France Nature Environnement.

André Parfonry, Directeur du Carah¹, a inauguré cette journée en soulignant l'importance des financements européens pour la dynamisation de la filière forêt-bois. Le partage de connaissances et d'expériences est un des maitres mots de ce projet transfrontalier du programme Interreg Va intitulé *Forêt Pro Bos* et concernant les régions du Grand Est, des Hauts-de-France, de Wallonie et des Flandres.

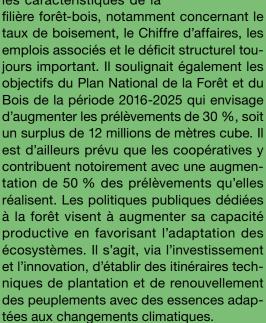
¹ Centre pour l'agronomie et l'agro-industrie de la province de Hainaut.

Plus de 250 personnes assistant aux séances plénières dans les salons du Conseil régional Hauts-de-France.



Le projet Forêt Pro Bos regroupe, depuis 2016, 11 partenaires français, wallons et flamands. Il vise à quantifier, renouveler, regrouper et valoriser la ressource en bois régionale, indispensable à l'approvisionnement de la filière locale. Il a pour ambition d'améliorer les connaissances des usagers de la forêt et des élus locaux quant aux réels impacts de la sylviculture sur l'économie et la biodiversité. Ce projet promeut le reboisement et la gestion forestière de manière générale pour relancer la production de la ressource bois transfrontalière. Retrouvez tous les résultats et les actualités du projet sur le site internet dédié; https://www.foret-pro-bos.eu/fr/

Bertrand Servois, président de l'Union de la Coopération Forestière Française (UCFF), intervenait sur « les attentes de la société en matière d'augmentation des prélèvements de bois et de préservation des écosystèmes forestiers ». En préambule, il rappelait, avec quelques chiffres clés, les caractéristiques de la



L'opinion publique s'est emparée du sujet de la gestion forestière comme on peut le vérifier avec les nombreux articles, films, émissions, reportages qui font florès depuis quelques années. Souvent, la forêt est considérée comme le dernier rempart d'une nature préservée dont nombreux pensent qu'elle appartient à tout le monde. Les amalgames entre les forêts européennes et celles d'Amazonie sont nombreux et réducteurs : les coupes rases, la déforestation, la « mal forestation », les enrésinements, les plantations en lignes, la plantation de peupliers, constituent autant de critiques qui laissent à penser que tout le monde est devenu spécia-



liste de ces questions pourtant particulièrement complexes. Il est vrai que les liens avec la ruralité se sont distendus. L'histoire nous apprend cependant que le bois a de tout temps été utilisé dans la construction (notamment des cathédrales, mais aussi des maisons) ou dans l'énergie (énergie domestique ou celle des forges, des fours à chaux et autres salines). Les

objectifs initiaux des plantations sont souvent éloignés des utilisations au moment de la récolte des bois comme l'ont montré les chênes plantés ou semés par Colbert. Mais le bois continue d'être utilisé et le sera tout autant demain avec, par exemple, le projet de village olympique pour les JO de 2024, le développement probable d'emballages papier et cartons pour contrer le plastique particulièrement polluant. Il faut aussi regarder le formidable essor des poêles à granulés, sans parler de nombreux autres pans d'activités ou de recherches où le bois, comme matériau renouvelable et fournisseur des molécules de base de la chimie organique, se développe. Face à tous ces enjeux, les coopératives apportent une réponse adaptée de l'amont vers l'aval : elles structurent l'offre des propriétaires forestiers et proposent des débouchés variés aux produits dont elles organisent la récolte et la sortie, cette structuration de l'approvisionnement permettant de développer les contrats. Bertrand Servois conclut en présentant quelques chiffres représentatifs du poids des coopératives forestières dans la gestion forestière des forêts privées : avec 110 000 adhérents totalisant 1,9 millions d'hectares, l'importance des coopératives forestières est indéniable. Les qualificatifs « respectable, indispensable, durable et certifié » s'associent désormais aux vocables « commercialisation, communication et innovation » qui caractérisent ces coopératives.



Christine Farcy est Docteur en sciences agronomiques, chercheur et chargée de cours invité à l'UCLouvain en Belgique. Elle analyse notamment la perception du grand public vis-à-vis de la forêt. À ce titre, elle distingue la perception qui est propre à chaque individu de la représentation sociale, laquelle traduit l'opinion partagée d'un groupe pour un

sujet donné. La représentation

sociale est essentiellement véhiculée par la tradition, l'éducation et la communication, et s'applique particulièrement bien à la société globalisée d'aujourd'hui.

Différentes enquêtes d'opinion ont été conduites simultanément au niveau européen et parfois de manière plus ciblée sur l'un ou l'autre des pays. Les résultats présentés sont issus de campagnes menées entre 2015 et 2018. L'Eurobaromètre de la Politique Agricole Commune (PAC) réalise régulièrement des interviews auprès de quelque 28 000 personnes habitant les 28 États membres. En 2015, à la question : « quelles sont selon vous les principaux bienfaits procurés par la forêt ? », la production de bois énergie (24 %), de bois matériau (22 %) et l'emploi (16 %) arrivent loin derrière l'absorption du carbone pour limiter les changements climatiques (66 %) et la préservation de la biodiversité (63 %). La production de bois n'est dans le trio de tête ni en Finlande, ni en Suède et n'arrive en troisième place que dans les pays baltes. Les résultats sur la France respectent cette hiérarchie, le bois énergie réalise un score un peu moins mauvais (29 %), de même que le bois matériau (25 %). Plus inquiétant est ce sondage réalisé chez les 18-24 ans en Belgique qui sont 2/3 à vouloir interdire la coupe des arbres. Les enfants de 6 à 10 ans issus d'États membres de l'Union européenne ont une vision positive de la forêt si l'on s'en réfère au concours de dessin lancé en 2015 qui devait répondre à la question « qu'estce que la forêt pour moi ? » . Mais l'action de l'homme en forêt est cependant absente de la majeure partie des dessins produits et le lien avec le matériau bois est représenté



de façon marginale. Un programme de recherche lancé simultanément en France et en Belgique a analysé la « représentation sociale et l'utilisation de l'image de l'arbre et de la forêt à des fins religieuses, politiques, commerciales...». Les exemples sont abondants dans différents domaines, politique ou publicitaire aujourd'hui, religieux hier. Il faut d'ailleurs distinguer

la perception de l'arbre de celle de la forêt : l'arbre n'a que des vertus alors que la forêt est davantage installée dans une mythologie inconsciente où se mêlent notamment le mystère et l'inhospitalité. Le grand public pense que la forêt est menacée et que sa surface régresse en Europe alors qu'elle augmente de 350 000 ha/an. Hier, la forêt était ancrée au monde rural et à ses activités, son économie. Aujourd'hui, l'urbanisation de la population (au niveau mondial, 6 habitants/10 habiteront en ville en 2030 et 8/10 en 2050) a rompu ces liens. La coupe d'arbre est mal perçue, assimilée à une mise à mort de l'arbre voire de la forêt.

Il y a clairement aujourd'hui une ambivalence entre le secteur forestier et sa perception par la société pour qui le rôle écologique de la forêt est prééminent et incompatible avec l'exploitation forestière. Cette attitude est d'autant plus paradoxale que le bois matériau est plébiscité et irrigue tous les segments de la bio-économie. Cependant, le bois et son utilisation ne sont pas associés à la coupe d'arbre.

Plusieurs axes et pistes sont suggérés. Tout d'abord, la nécessité de prendre acte de la force des convictions en présence et de comprendre en profondeur les processus psycho-sociaux à l'œuvre. Ensuite de changer de modèle de communication en privilégiant les approches mettant en lumière la complexité des questions forestières plutôt que des « messages simplistes, le plus souvent décontextualisés, visuels et émotionnels ». Un changement de posture du secteur forestier, par trop sur la défensive, est également suggéré ainsi que la prise en compte des questions symboliques et éthiques dans la prise de décision.

¹ https://www.foretwallonne.be/sommaires-precedents-caches/2818-foret-nature-142

15

Hervé Le Bouler, responsable du réseau forêt de France Nature Environnement, rappelle les grandes tendances de la forêt et de la population en France depuis 15 000 ans. Il souligne l'accroissement continu de la population depuis le néolithique, hormis quelques baisses provoquées notamment par les guerres ainsi que l'accroissement régulier de la surface fores-

tière en France depuis la Révolution française, laquelle devrait atteindre 18 à 20 millions d'hectares d'ici 2040.

Pendant longtemps, un accroissement de 1 à 1,5 million d'habitants se traduisait par la suppression de 1 à 1,5 million d'hectares de forêts. Bien qu'elle se situe à la seconde place au niveau européen, la récolte de bois en France affiche une stabilité remarquable sur 20 ans alors qu'elle a progressé dans bon nombre de pays de l'Union européenne. Concernant les enquêtes d'opinion sur la gestion forestière, on retrouve les chiffres issus des enquêtes présentées par Christine Farcy: avec 19 %, l'exploitation du bois est reléguée à la 7^e place, loin derrière la protection et la diversité biologique, et la restauration des forêts après des catastrophes naturelles qui affichent des scores respectifs de 63 et 60 %. Selon un sondage réalisé par l'Université de Caen en 2015, la coupe d'arbres est assimilée à la destruction de la forêt par près du quart des sondés mais, pour 37 % d'autres personnes, cette coupe assure l'entretien de la forêt. Heureusement, pour les propriétaires forestiers (enquête Resofop 2015), la production de bois est un enjeu pour 45 % des sondés, à niveau égal avec la préservation de la biodiversité, mais



assez loin derrière l'attachement affectif (62 %) et le plaisir (55 %), le régime fiscal particulier attaché à la forêt ne motive que 10 % des propriétaires. La surface moyenne de propriété privée exerce une influence sur les modes d'exploitation et de valorisation des bois : pour les petites surfaces (entre 4 et 10 ha), l'autoconsommation détermine le consentement à couper

alors que pour les surfaces supérieures à 100 ha, la commercialisation des bois, y compris du bois d'œuvre constitue la destination naturelle de l'exploitation forestière.

Pour le représentant forêt du réseau FNE, il faut « mettre la forêt au cœur des transitions écologiques, économiques, sociales et territoriales ». Cela suppose de modeler des forêts écologiques à haute valeur de biens et services écosystémiques et résilientes face aux impacts imprévisibles que constituent les chocs climatiques et sanitaires induits ou non. Ces forêts doivent générer de la valeur économique pour la filière et les territoires. La biodiversité ne doit plus être considérée comme une contrainte mais comme un support de la gestion forestière : le modèle agricole simplifié et productiviste a montré ses limites économiques et ses conséquences écologiques. Et Hervé Le Bouler de conclure sur la nécessité d'associer biodiversité et économie pour éviter un effondrement de l'un et l'autre. Avec ce préalable, il est possible de mettre en gestion la majorité des forêts peu ou pas gérées et d'orienter vers la forêt des investissements massifs pour que celle-ci soit l'objet d'une grande cause nationale de la transition écologique.



Résumé

Quelles forêts voulons-nous demain? Tel était le titre du colloque organisé le 21 mars 2019 à Lille par les partenaires du projet Interreg Forêt Pro Bos. Partant du constat paradoxal d'un matériau incontournable pour la transition écologique et d'une opposition de plus en plus vive de l'opinion publique pour la coupe des arbres, les conférenciers français et belges ont débattu de l'importance de reconnecter le matériau bois des forêts dont il est issu, d'adapter encore davantage la gestion forestière aux attentes de la société en matière environnementale et de la nécessité d'accompagner l'opinion publique dans sa perception des coupes en forêt.

Mots-clés: Sociologie, opinion publique, gestion forestière, coupe rase, colloque.

Concours photographique du colloque

« Quelles forêts voulons-nous demain? »

par François Clauce, CRPF Hauts-de-France

En marge du colloque « Quelles forêts voulons-nous demain ? » organisé à Lille dans le cadre du projet Forêt Pro Bos, les organisateurs ont lancé un concours photographique afin d'habiller les espaces d'accueil du site et de faire travailler les photographes sur les relations forêt-biodiversité.

orsque l'on parle de forêts, la biodiversité est un sujet qui arrive rapidement sur le devant de la scène auprès du grand public. C'est pourquoi les organisateurs du colloque « Quelles forêts voulons-nous demain ? » ont décidé de lancer en marge de ce colloque un concours photographique portant sur le thème de la biodiversité en forêt avec une attention particulière de l'impact de la gestion sur cette biodiversité. Organisé grâce au financement du Conseil régional Haut-de-France, ce concours récompensait les 20 plus belles photographies, le premier prix étant un bon cadeau d'une valeur de 1 000 €.

Le concours était ouvert à tous les photographes amateurs ayant réalisé une photographie en Belgique, dans les régions Hauts-de-France ou Grand Est. Une seule photographie par candidat était acceptée.

Pour départager les candidats, un jury composé d'acteurs de la gestion forestière et de la protection de la nature a été constitué. Les critères de sélection portaient sur la qualité artistique, la qualité technique, l'intérêt du sujet et son originalité ; la mise en évidence du lien entre gestion forestière et biodiversité était également évaluée sous la forme d'un « bonus ».

La communication sur ce concours s'est faite par l'envoi de courriels à partir des carnets d'adresses des organisateurs, par publication d'une communication sur les pages Facebook des principaux groupes de photographes amateurs du Nord de la France et de Belgique et par publication dans les revues professionnelles des organisateurs.

Au total, 62 photographes ont participé au concours avec des clichés pris en Belgique (5), en Hauts-de-France (38) et en Grand Est (19). Les animaux ont été les plus photographiés avec 1 arachnide, 2 insectes, 8 oiseaux et 16 mammifères. Les plantes ont été photographiées 20 fois avec de nombreuses macrophotographies proposées. Enfin des plans plus larges de peuplements forestiers ou de paysages ont fait l'objet de 20 clichés.

Les lauréats ont reçu leur prix à l'occasion du colloque qui s'est tenu à Lille le 21 mars 2019 au siège du Conseil régional Hauts-de-France. Ils ont pu admirer à cette occasion les 20 premières photographies du concours affichées dans le grand hall de l'hémicycle sur des bâches de grande dimension.



PREMIER PRIX - « Préserver et épargner quelques vieux arbres permet de maintenir l'habitat de certains oiseaux comme ce moyen duc au dortoir, gestion et biodiversité sont compatibles ». © Lecaille Joris



Remise des prix du concours photographique par Antoine d'Amécourt. © Elyse Speybrouck





DEUXIÈME - « L'Oreillard roux est dépendant à la fois de cavités arboricoles forestières pour gîter mais aussi de nombreuses strates végétales forestières pour y chasser les insectes posés sur le feuillage. Cette chauve-souris aux oreilles démesurément longues est un allier précieux pour le bon équilibre de la forêt ». © Dutilleul Simon



TROISIÈME - « Lors d'une promenade en forêt, dans une clairière je suis tombée sur une toute petite mare en bordure de forêt, contenant plusieurs individus ».

© Bron Roxane



QUATRIÈME - « Les vieilles souches d'arbres permettent de créer un habitat aux insectes et arachnides (ici *Marpissa muscosa* femelle) assurant la pérennité des espèces ».

© Guermonprez Samuel



CINQUIÈME - « Juvénile de pic épeiche, photo prise en affût. Suivi de la famille pic épeiche jusqu'à l'envol des oiseaux, photo prise lors du 6° jour d'affût. Cette photo montre l'intérêt des arbres matures pour les oiseaux cavernicoles ».

© Prevost Bastien

Le jury du concours était composé d'acteurs de la gestion forestière et de la protection de la nature :

- Le Centre régional de la propriété forestière Hauts-de-France (https://hautsdefrance.cnpf.fr/)
- L'interprofession Fibois Hauts-de-France (https://www.bois-et-vous.fr/fibois-hauts-de-france)
 - Hout Info Bois (http://www.houtinfobois.be/)
 - Le Conservatoire Botanique National de Bailleul (http://www.cbnbl.org/)
 - Le Carah, ASBL des services agricoles de la Province de Hainaut (http://www.carah.be/)
- Les Conservatoires d'espaces naturels des Hauts-de-France (http://www.cen-npdc.org/ et http://conservatoirepicardie.org/)
 - PEFC Hauts-de-France (https://www.pefc-france.org/regions/nord-pas-de-calais-picardie/)
 - Région Hauts-de-France (http://www.hautsdefrance.fr/)



J. Fiquepron © CNPF

Au cœur des sols forestiers, préserver leur fertilité

Par Julien Fiquepron, CNPF-IDF

omment la forêt produit-elle autant sur des sols aussi pauvres ? Cette fertilité, littéralement cette capacité à produire, dans des conditions très contraintes, est une particularité et un atout des écosystèmes forestiers. Lesquels font face à de sévères aléas sanitaires et climatiques.

Dans ce contexte, il est capital de ne pas affaiblir les forêts et donc de préserver la fertilité des sols. Ce dossier nous invite à plonger au cœur des sols forestiers, grâce aux travaux récents sur les composantes chimiques et biologiques de la fertilité. L'enjeu est de mieux comprendre le fonctionnement des sols, afin de préserver leur fertilité et ainsi d'assurer des conditions favorables à la gestion durable de nos forêts.

La fertilité physique avait été abordée dans le dernier dossier de Forêt entreprise sur les sols forestiers (n° 242, 2018). Il était notamment question de prévention contre l'érosion, de recommandations contre les risques de tassement, et de réservoir en eau utilisable. Nous tenions à apporter ici un éclairage com-

plémentaire sur les deux autres facettes de la fertilité.

Le concept de fertilité est souvent réduit à tort à la seule réserve chimique du sol. Pour y voir plus clair, François Charnet du CNPF-IDF fait le point sur cette notion de fertilité et sur les moyens de l'estimer. Il propose ensuite une synthèse des méthodes de diagnostic et analyse les enseignements à en tirer pour adapter les pratiques sylvicoles aux potentialités du milieu.

Pour répondre aux enjeux de préservation des sols, les forestiers bénéficient de l'appui de l'Ademe. Alba Departe présente la vision de l'Ademe et les principaux projets soutenus par l'Agence sur les sols forestiers. Une force des écosystèmes forestiers est d'être ultra performants en termes de recyclage d'éléments nutritifs. Ils sont ainsi très productifs relativement aux réserves chimiques de leurs sols, mais des récoltes excessives peuvent fragiliser cet équilibre. D'où l'attention portée par l'Ademe aux modalités de récolte de bois

Sommaire

- 20 La fertilité des sols forestiers ; <u>Partie 1</u> : définitions et concepts
- 23 La fertilité des sols forestiers ; <u>Partie 2</u> : diagnostiquer et agir
- 30 Préserver la fertilité des sols forestiers
- 34 Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie
- 40 Gestion durable et biodiversité des sols forestiers ;

<u>Première partie</u>: Que sait-on de la biodiversité forestière des sols et de ses rôles?

44 Gestion durable et biodiversité des sols forestiers ;

Deuxième partie :
Comment la gestion forestière agit-elle sur la biodiversité des sols forestiers ?

- 48 Panorama des articles sur la fertilité des sols
- 49 Préservation des sols forestiers : les outils du CNPF

OSSIER coordonné par Julien Fiquepron et François Charnet



Julien Figuepron, ingénieur CNPF - IDF, antenne de Nancy. Missions: relations forêt et eau, sols, renouvellement des avec la forêt et peuplements.



François Charnet, ingénieur CNPF - IDF, antenne d'Orléans ; études sur le sol et ses interactions l'environnement (sous-sol, eau, et climat).

En savoir⁺

Deux conférences dédiées aux sols forestiers :

Sols forestiers, 26 novembre 2019 séminaire co-organisé par le CRPF Bourgogne-Franche-Comté, l'ONF et le PNR du Morvan. https://www.parcdumorvan.org/sols-forestiers/

La gestion de la fertilité des sols forestiers est-elle à un tournant? Atelier Regefor 10-12 juin 2013, co-organisé par le GIP ECOFOR et le Pôle Forêt-Bois de Nancy.

Trois jours d'échanges intenses - et en français rassemblés dans un nº spécial de la RFF.

http://www.gip-ecofor.org/quatrieme-atelier-regeforla-gestion-de-la-fertilite-des-sols-forestiers-est-elle-aun-tournant/

RFF - Numéro 4 - 2014

http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/56347

énergie, avec le développement de nouveaux outils pour mieux préserver la fertilité chimique des sols. Parmi ces outils figurent un indicateur de sensibilité des sols à une récolte accrue de biomasse (projet Insense), et un guide sur la gestion raisonnée de la récolte de bois-énergie (projet Gerboise). Guy Landmann, du GIP Ecofor, reprend dans ce dossier sous une forme abrégée le contenu de ce quide, avec 3 recommandations spécifiques à la récolte de menus bois et de souches, et 3 autres adaptées à tous types de récoltes.

S'agissant de la fertilité biologique, nous ne sommes pas encore en mesure d'énoncer des recommandations générales aux gestionnaires. S'il nous reste beaucoup à découvrir sur la vie des sols forestiers, les progrès dans les techniques d'analyse ouvrent des perspectives pour mieux la décrire, suivre son évolution et en tenir compte dans la gestion forestière. Tel est l'objet de la synthèse Gestion durable et biodiversité des sols forestiers réalisée par le GIP Ecofor et le laboratoire Ecodiv. Cécile Nivet, de Xylofutur, partage à partir de cette synthèse les dernières connaissances sur la biodiversité des sols. Structuration des sols, décomposition et transformation des matières organiques, recyclage de nutriments, etc., les diverses fonctions écologiques assurées par la biodiversité illustrent bien les liens entre les trois composantes de la fertilité : biologique, chimique et physique.



Des travaux de recherche (Anne-Sophie Sergent, 2011) ont montré que suite à un fort stress hydrique, des douglas récupéraient mieux leur croissance sur les stations à meilleure fertilité minérale. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence, d'autant qu'ils n'ont pas été vérifiés par des travaux plus récents. La fertilité des sols ne saurait constituer la panacée pour affronter les diverses menaces pesant sur nos forêts. Néanmoins, ceux-ci nous incitent à ne pas exposer les forêts à des risques supplémentaires : il est ainsi primordial de préserver la fertilité des sols forestiers.

Nous avons appris le décès de François Toutain, survenu le 23 mars dernier à Nancy. Ce nom est familier à tous ceux qui se sont intéressés à l'écologie forestière et plus particulièrement à la biologie des sols forestiers. La fertilité des sols était au cœur de son travail et nous tenions ici à lui rendre hommage. Toutes nos pensées accompagnent sa famille et ses proches.

Hommage à François Toutain, sur le site de l'Association Française pour l'Étude des Sols : https://www.afes.fr/2020/04/03/hommage-a-francois-toutain/

La fertilité des sols forestiers

Partie 1 : définitions et concepts

par François Charnet, CNPF-IDF

On utilise souvent le terme fertilité pour parler de nos sols forestiers. Derrière ce terme, se cache une notion bien plus complexe qu'on ne peut l'imaginer.

Une notion ancienne, mais de signification diverse

La Fertilité renvoie au mot latin fertilitas, formé à partir du verbe ferrere (porter, produire), vieux radical latin. Il exprime une capacité à produire, et renvoie aux notions de richesse, d'abondance, de prodigalité. Il peut s'entendre au sens propre (« un sol fertile, une population fertile »), comme au sens figuré (« une imagination fertile »).

Au sens propre, il s'applique depuis toujours aux sols agricoles. Pour les sols forestiers, il est rendu par la notion de « valeur du fonds ». La fertilité des sols s'inscrit implicitement et historiquement dans une perspective de production et dans un cadre économique. Quelques définitions récentes et plus étendues prennent en compte les aspects écosystémiques¹, physiographiques² et qualitatifs.

Une notion initialement agricole

L'originalité des sols forestiers tient sans doute au fait que leur vocation alimentaire est secondaire ou marginale. Sauf exceptions historiques (forêts royales dédiées à la chasse, devenues domaniales - et ainsi préservées du défrichement, certaines forêts privées ...), les forêts occupent maintenant, au terme d'un processus multiséculaire de contre sélection, les sols les moins fertiles du paysage français. Délaissés par l'agriculture à cause de leur médiocre vocation culturale, ce sont les sols de pente, les sols peu profonds en général, les sols trop mouilleux et, en plaine, les sols sur terrains siliceux résiduels ou de transport d'âge tertiaire ou quaternaire qui couronnent le sommet des plateaux et des collines, et qui sont désignés par le terme générique de diluvium sur les anciennes cartes géologiques. Suite à divers processus d'appauvrissement consécutifs à des surexploitations, et au développement des techniques d'analyse, le concept de fertilité s'est étendu aux sols forestiers, avec les limites de cette transposition (pertinence des méthodes d'analyse d'origine agronomique). Les Ateliers Regefor, pour Recherche et Gestion Forestière, tenus à Champenoux en 2013 pour faire un état de l'art, témoignent de cette évolution et de la place que prennent désormais ces thèmes dans la gestion forestière.

Division statique et dynamique du concept de fertilité

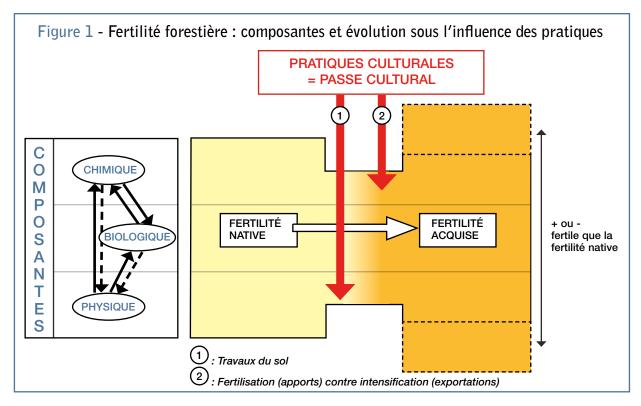
Du point de vue statique, la fertilité comme propriété globale peut être présentée comme la résultante ou la combinaison de quatre composantes fondamentales : climatique (à l'échelle globale, zonation terrestre de la production primaire des écosystèmes ; à l'échelle locale, influence du climat régional et du topoclimat) et, relativement au sol, les trois composantes physique, chimique et biologique. Celles-ci sont d'ailleurs liées entre elles et de façon complexe, ce qui constitue une contrainte majeure pour l'élaboration de modèles quantitatifs. Pour ces raisons, la fertilité globale ne peut être mesurée que d'après les produits forestiers (volumes de bois) alors que ses composantes peuvent faire l'objet de mesures directes, physiques, chimiques ou biologiques (commentées dans le deuxième article page 21).

Du point de vue dynamique, on distingue deux états de la fertilité : une fertilité potentielle ou native, qui exprime la productivité spontanée de l'écosystème, et la fertilité actuelle ou acquise, la seule directement mesurable, qui intègre le passé cultural, c'est-à-dire le poids de l'histoire et des pratiques.

Par ailleurs, pour la composante chimique, qui comporte une forte part d'héritage, on

¹ Qui intègre les terres, l'eau et les ressources vivantes.

² Qui a pour objet la description et l'étude des formes du relief de la Terre.



est amené à faire une autre distinction qui ne recoupe que partiellement la précédente : on distingue la fertilité chimique à long terme, de la fertilité chimique à court terme. La première rend compte des réserves minérales du sol ; elle est liée à la composition minéralogique de la roche-mère (abondance des minéraux ferro-magnésiens, balance des pôles alcalin et calco-alcalin dans les séries géochimiques des aluminosilicates), et dépend de son altérabilité, c'est-à-dire la facilité de libération (par des phénomènes géochimiques tels que l'hydrolyse) des éléments inclus dans les minéraux. L'altérabilité dépend de la texture de la roche (finesse de son grain) et du climat. La fertilité à court terme exprime quant à elle la richesse en nutriments, c'est à dire en éléments chimiques présents sous une forme assimilable par les arbres. Elle englobe les cations majeurs tels que le calcium, le magnésium et le potassium, mais aussi des anions tels que les nitrates ou les phosphates solubles. Elle est le résultat de la pédogénèse (mode de formation du sol) et de son fonctionnement actuel, enfin de son mode de culture (culture extensive-conservative versus culture intensive-soustractive). Les parts respectives de ces deux composantes pourront être évaluées à partir de mesures en laboratoire, telles que le ratio éléments assimilables/éléments totaux. Dans certains cas cependant, la relation entre la roche-mère (y compris les éléments grossiers ou débris de roches) et la terre fine du sol est moins immédiate. En effet, dans beaucoup de sols de versant, la roche mère qui héberge le sol est « polygénique » ; elle provient de la mobilisation et du brassage sous forme de coulée boueuse de produits

d'érosion divers issus des terrains situés en

amont. Dès lors, la relation entre ces deux phases est moins étroite.

Mesure ou estimation de la fertilité

Dans le détail, la fertilité globale peut s'estimer par des mesures de production en volume ou à défaut, par l'usage de tables de production, qui permettent dans les meilleurs cas (classes de production tabulées par modèles de sylviculture) d'estimer une classe de production, et *a minima* de comparer la fertilité des sols à travers la hauteur dominante à un âge de référence, prise comme indicateur de fertilité. Les composantes élémentaires pourraient inclure les variables suivantes, dont la liste n'est pas exhaustive :

- variables physiques: profondeur du sol, pierrosité, régime hydrique, réservoir en eau utilisable.
- wariables chimiques: niveau des ressources minérales assimilables (cations et anions), risques de carence et de toxicité (sur éléments traces), indicateurs synthétiques tels que l'acidité (ou son contraire la basicité), le taux de saturation en bases, le rapport carbone/azote (C/N). Les mesures en macro ou micro-éléments peuvent se faire sur des échantillons de sols. Le diagnostic foliaire, dont l'interprétation fait référence à l'essence échantillonnée, a l'avantage de tenir compte de l'influence physiologique des variables chimiques sur l'arbre, en d'autre termes son écophysiologie,
- variables biologiques: ce sont des indicateurs d'activité biologique mesurés en laboratoire tels que les taux de minéralisation du carbone et de l'azote (tests de laboratoire),

la biomasse bactérienne ; la respirométrie in situ (dégagement de gaz carbonique CO₂ résultant de l'activité microbienne),

variables climatiques: températures, degrés jour unifiés (cumul des températures quotidiennes dépassant un certain seuil, marquant la progression de la saison de végétation), pluviométrie, insolation, rayonnement net.

Son évolution

L'évolution de la fertilité dans le temps peut s'étudier par des techniques dendrométriques, en comparant les productivités ou les volumes produits d'après des archives, ou plus précisément par des études dendro-chronologiques (variations temporelles de la croissance radiale de l'arbre d'après l'analyse des cernes) ou par des analyses de tiges (pour l'élongation). L'interprétation de ces mesures, spécialement sur les échantillons ou les zones étendues, doit démêler l'écheveau des causes (car il s'agit évidemment de déterminismes multifactoriels), et isoler la composante « fertilité » des nombreuses autres sources parasites de variation (de nature sylvicole, climatique, génétique, sanitaire). Des procédés statistiques peuvent parfois faire ce tri, mais il reste souvent une part de conjecture. Ainsi, l'augmentation de la production observée dans certaines régions sur deux générations (pour les pins en plaine, notamment), est comprise par certains comme une majoration de la productivité liée à l'évolution du climat, par d'autres comme un artéfact lié à l'évolution des règles de sylviculture depuis l'époque où ont été construites les tables de production (les années soixante en l'occurrence, dans le cas cité plus haut).

Les connaissances sur les déterminants de la fertilité sont dans l'ensemble relativement récentes, et disparates. La composante chimique est la plus anciennement connue, suite aux enrésinements de plaine sur les sols sableux peu fertiles qui ont commencé dès le XIX° siècle (Anjou, Sologne, Landes, La

Double...) et s'est appuyée sur l'expérience agronomique, avec un ajustement empirique des doses, avant les premières expérimentations forestières des années soixante. Pour les composantes physiques et biologiques, les données disponibles et opérationnelles sont encore plus rares, et justifient la programmation de recherches spécifiques. Celles-ci dont une partie est exposée dans les articles suivants portent surtout sur les conséquences des pratiques sylvicoles sur la fertilité globale, dans la perspective d'une conservation de la fertilité, qui recouvre pour partie la notion de « gestion durable ».

Il est difficile de restituer l'influence combinée de ces différentes composantes sur la fertilité globale, compte tenu des relations complexes – et imparfaitement connues – qui les lient. Une telle évaluation n'aurait du reste de sens que pour une essence de référence (par exemple le chêne commun) compatible avec les stations ou les sols comparés. L'expérience de terrain enseigne en substance que le facteur hydrique est souvent prééminent sous sa forme contraignante hydromorphe, délimitant le périmètre écologique (ou niche) d'une essence, en dehors duquel cette comparaison n'aurait pas de sens. À l'intérieur du périmètre des sols non hydromorphes, ce sont les fonctions de réservoir en eau utilisable (le RU) et le niveau de fertilité chimique (ou « niveau trophique » des catalogues de stations), qui gouvernent la productivité des sols forestiers, à parts variables selon l'écologie des essences retenues (feuillus sociaux et résineux versus feuillus précieux, par exemple).

On retiendra que, pour ces raisons de fond, tout autant qu'en raison du caractère encore lacunaire des connaissances, il n'est pas possible de construire « une clef générale de prédiction de la fertilité des sols ». Tout au plus peut-on établir des hiérarchies locales, sur la base de mesures dendrométriques et d'une interprétation des données de terrain.

Bibliographie

- Bastien Y., Gauberville C., (coord.), 2011 – Vocabulaire forestier; Ecologie, gestion et conservation des espaces boisés. Paris, AgroParis Tech, CNPF-IDF, 608 p.
- Duchaufour Ph. Introduction à la science
 du sol; Sol, végétation,
 environnement (7°
 édition), Dunod, Paris,
 2018, 472 p.
- Jabiol B., Levy G., Bonneau M., Brethes A., 2009 – Comprendre les sols pour mieux gérer les forêts. Agro ParisTech-ENGREF, 624 p.
- Landmann G., Ranger J.,(coord.), 2013 La gestion de la fertilité des sols forestiers est-elle à un tournant ?, Actes des Ateliers REGEFOR 2013 (Champenoux, 10-12 juin 2013), Revue Forestière Française, n°4, 2014.
- Lozet J., Mathieu C.- Dictionnaire encyclopédique de science du sol. Paris, Tec et Doc Lavoisier, 2011, 733 p.
- Otto H.-G., 1998
 Écologie forestière.
 Institut pour le
 Développement Forestier,
 Paris, 397 p.

Résumé

La notion de fertilité des sols appartient historiquement au monde agricole et ce n'est que tardivement qu'elle a été étendue aux sols forestiers. Cette notion est plus complexe qu'il n'y parait : de nombreux facteurs physiques mais aussi biologiques interviennent pour la définir et, de plus, c'est une valeur évolutive.

Mots-clés: sol forestier, fertilité forestière, production, définitions.

La fertilité des sols forestiers

Partie 2 : diagnostiquer et agir

par François Charnet, CNPF-IDF

Parmi les facteurs locaux qui favorisent la bonne santé et la productivité des peuplements forestiers, le sol s'impose comme le plus immédiat, mais aussi le plus divers. La notion intuitive de fertilité doit donc être précisée dans ses différentes composantes, physique, chimique et biologique, pour mieux comprendre ses modalités d'influence. C'est à ce prix que les méthodes de diagnostic gagneront en pertinence et en précision, et fourniront les bases objectives d'une gestion conservatrice ou correctrice de la fertilité forestière.

Le diagnostic de fertilité : pour quoi faire ?

Le diagnostic de fertilité peut s'exercer dans deux circonstances, selon son objectif dans la gestion forestière :

- le diagnostic général de fertilité, préalable à un aménagement;
- celui particulier qui vise à identifier la cause de problèmes observés sur les peuplements (chutes de rendement, dépérissements, mortalités, défauts de reprise).

Le premier cas s'attache à évaluer les contraintes générales de croissance qui pourront orienter les choix de modèles de sylviculture (choix des essences objectifs, mais aussi des paramètres sylvicoles tels que la densité ou l'âge d'exploitation). Le second mettra en œuvre des observations ou analyses choisies en fonction de premières hypothèses, de symptômes visuels (colorations, défoliations, anomalies de forme et/ou de croissance, par exemple), en tenant compte de la répartition des anomalies. Dans la majorité des cas, l'orientation et la répartition des observations (stratégie d'échantillonnage), aussi bien que les techniques d'investigation ou les analyses utilisées, ne seront pas les mêmes.

Le premier type de diagnostic est suffisant pour orienter les décisions de gestion courante. Elles consisteront dans la plupart des cas à choisir entre trois options fondamentales : conserver, restaurer, ou améliorer.

La gestion conservatrice est justifiée quand le diagnostic dénote un niveau de fertilité compatible avec les objectifs de production et proche de son étiage naturel (régi par le cycle biogéochimique) : elle consiste à s'assurer que la sylviculture pratiquée préserve le potentiel du sol, dans ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

Les mesures de restauration deviennent nécessaires quand des chutes de productivité ou un appauvrissement en ressources minérales, par rapport à un état antérieur ou par comparaison avec un sol voisin pris pour témoin (sol équivalent ayant connu un autre passé cultural), laissent présumer une dégradation de la fertilité naturelle.

Enfin, l'amélioration a été souvent tentée pour augmenter la productivité de sols naturellement peu fertiles, comme dans les reboisements des sols siliceux et acides de l'Ouest de la France avec des résineux.

Application aux principales composantes de la fertilité

Fertilité physique

La composante physique englobe le volume de sol prospectable (concrètement sa profondeur et la proportion de volume « mort » pris par les éléments grossiers tels que cailloux, pierres, blocs), ainsi que les conditions physiques qui y règnent (humidité, aération). L'estimation de la profondeur prospectable est une des difficultés majeures que doit affronter l'opérateur sur le terrain :

- à cause de l'ambiguïté du concept (elle dépend du sol certes, mais sur un même sol elle peut varier selon les essences, car leurs systèmes racinaires sont inégalement sensibles aux augmentations de compacité);
- à cause de la représentativité insuffisante des observations locales (sondages et même fosses). La difficulté consiste en effet, à partir d'une observation limitée dans son étendue (tranchée ou fosse), à évaluer l'hétérogénéité latérale et verticale du sol sur l'ensemble de la surface prospectée par un arbre adulte, soit plusieurs ares.

On comprend dès lors qu'une erreur d'évaluation de cette profondeur – dans la plupart des cas une sous-estimation – puisse fonder des conclusions paradoxales ou aberrantes

Tableau 1 - Classes de drainage naturel ; équivalence avec la classification du GEPPA (1981)

DRAINAGE NATUREL		INDICATEURS EDAPHIQUES			REGIME HYDRIQUE	INDICATEURS FLORISTIQUES					
Qualificatif	Code GEPPA	Profondeur des traits d'hydromorphie	Drainage externe	Drainage interne	-	Combinaisons dendrologiques climaciques	Echelle d'hygrophilie	Espèces repères			
Excessif Rapide	I	> 120 cm	Plateaux et butes, Relief convexe ou plan (écoulements et/ou infiltration rapides) ey Rupture de perméabilité profonde Engorgement temporaire profond Engorgement temporaire profond moyennement profond	Chênaies	mésoxérophile	Canche flexueuse, Cladonies					
Favorable	II	Pseudogley 80 cm		perméabilité		sessiliflores, Chênaies sessiliflores - hêtraies	xérocline	Laiche à pilules			
Modéré	III	Pseudogley 50 cm		Rupture de	moyennement	(selon climat)	mésophile	Fougère aigle			
Imparfait	IV	Pseudogley 25 cm	Bas de versant, dépressions sur plateau Relief concave (écoulements ralentis)	Bas de versant, dépressions sur plateau	dépressions sur plateau	dépressions sur plateau	perméabilité moyennement profonde (nappe perchée)	Engorgement temporaire près de la surface	Chênaies pédonculées,	hygrocline	Houlque molle, Jonc diffus
Faible	V-a	Pseudogley surface					dépressions sur plateau	(- FF - F	Engorgement temp. en surface	Chênaies -tremblaies	
Assez pauvre	V-b-c	Gley > 120 cm		Perméabilité	Engorgement permanent de profondeur	Chênaies pédonculées - (-frênaies)	mésohygrophile	Circée de Paris Laiche espacée			
Pauvre	V-d	Gley 80 cm		Fonds de vallon et Vallées	quelconque (nappe libre à déterminisme extrinsèque)	Engorgement sub-permanent à mi-profondeur	Aulnaies-frênaies	hhile	Carex riparia, Carex div. sp.		
Très pauvre	VI-c	Gley 50 cm	(Ecoulements concentrés)		Engorgement permanent près de la surface	Aulnaies	hygrophile	Galium palustre			
Submergé	Н	Surface		Suintements	Submersion fréquente	Boulaies, saussaies	hydrophile	Sphaignes, Polytric commun			

(productivités mesurées fortes sur des sols jugés défavorables). Ces risques d'erreur sont encore renforcés dans le cas d'une évaluation a priori, fondée sur l'observation d'un sol sans le secours d'un enracinement observable : c'est un cas courant en conditions de routine, où le sol n'est connu qu'à travers un sondage.

Les conditions hydriques (ou économie en eau) qui règnent dans ce volume colonisé par les racines, englobent deux fonctions différentes du sol : sa fonction conductrice (rapidité d'évacuation vers la profondeur des eaux d'infiltration), et sa fonction capacitive (réservoir en eau utilisable). La première gouverne, en accord avec les conditions de gisement (place du sol dans le relief, déterminant son drainage « externe »), son régime hydrique. Celui-ci est révélé sur le terrain par les signes d'hydromorphie. L'existence de conditions d'aération favorables à un bon fonctionnement racinaire, c'est-à-dire dans des horizons non engorgés pendant la saison de végétation, est à cet égard déterminante. Dans les situations courantes, c'est à dire sans pouvoir s'appuyer sur des chroniques de niveaux de nappe (mesurés avec des piézomètres) ou des profils d'humidité (mesurés avec des humidimètres), c'est un diagnostic à dire d'expert, basé sur l'observation des traits visuels d'hydromorphie (décolorations, taches d'oxydation), en relation avec les conditions de drainage externe, qui permettront de situer l'économie en eau du sol parmi les principales classes de drainage (tableau 1).

Parmi les sols « bien drainés » (i.e. ; non hydromorphes), c'est le réservoir en eau utilisable du sol (appelé aussi Réserve Utile - RU), comme faculté à différer et réduire le déficit hydrique estival par la mise en réserve dans la microporosité du sol d'une partie des excédents pluviométriques hivernaux, qui induit de fortes différences de productivité. La stratégie de conservation veillera donc à limiter les impacts consécutifs aux travaux préparatoires et à l'exploitation, par le maintien d'un bon état organique, le choix des matériels, le calendrier des travaux, l'organisation des chantiers (réseaux de cloisonnements d'exploitation). Il existe dans ce domaine des guides opérationnels1. L'estimation de la RU en forêt pose des problèmes pratiques (évaluation de la profondeur prospectable, de l'enracinement profond, de la charge en éléments grossiers, etc.) Elle fait actuellement l'objet de discussions et de programmes de recherches. Les caractéristiques hydriques du sol sont fortement reliées aux propriétés physiques (figure 1), ce qui permet de prévoir leur niveau et leur sensibilité aux contraintes.

Voir aussi dossier FE n° 242 de 2018.

¹ Prosol en 2009 et Pratic'Sols en 2017 https://www.fnedt. org/sites/default/ files/2017%2012%20 13%20-%20GUIDE%20 PRACTIC%27SOLS.pdf



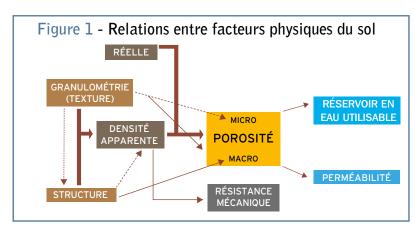


Tableau 2 - Tableau classes de fertilité Duchaufour

C/N	P ₂ O ₅	K+ (K ₂ 0)	Mg ²⁺ (MgO)	Ca ²⁺ (CaO)	
Horizon humifère (Ah)					
> 25	< 0,08 (0,05)	< 0,4 (0,18)	< 0,6 (0,12)	<1 (0,28)	
Horizon minéral (E ; B)					
-	< 0,08 (0,05)	< 0,12 (0,05)	< 0,15 (0,03)	< 0,3 (0,08)	

NB: Teneurs des ions (K'-Mg²-Ca²) en meq/100g, des oxydes (K,0-Mg0-Ca0) en %; P_yO_x en g/kg méthode Duchaufour (entre parenthèses: Méthode Dyer)

Les conditions d'aération sont associées à la géométrie de l'espace poral et plus particulièrement la porosité pour l'air. Cette porosité, est faite de vides de grande taille (macroporosité de quelques millimètres) séparant les agrégats, ou de fissures au sein de la masse du sol.

Le tassement des sols est un aléa qui augmente globalement la densité apparente du sol en place, mais de manière inégale. C'est principalement la macroporosité, donc la capacité pour l'air et la perméabilité (drainage interne), qui est réduite, alors que la microporosité, qui détermine le réservoir utilisable, est peu dégradée. Pour peu que cela concerne un sol à tendance hydromorphe et de structure peu stable, et que de la matière organique soit enfouie en surface, des conditions réductrices et anaérobies² s'installent, avec des conséquences néfastes pour le fonctionnement des racines (hypoxie, puis asphyxie des racines, fermentations méthaniques). Concrètement, la viabilité des semis et la croissance des arbres adultes peuvent en être affectées.

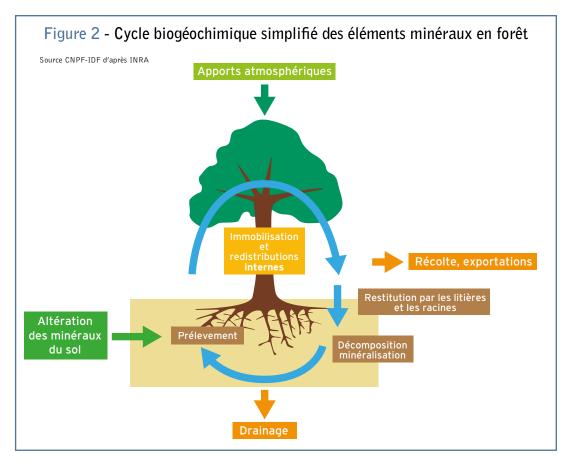
Fertilité chimique

C'est incontestablement la composante la plus connue et la plus mesurée, mais qui doit encore beaucoup à l'agronomie, c'est à dire à des concepts ou des méthodes d'analyses qui ont été transposés aux sols forestiers sans adaptation, même pour les normes d'interprétation. On y distingue traditionnellement la nutrition

azotée (Azote total) et la richesse en « bases » échangeables (en fait, les cations alcalins ou alcalino-terreux : Calcium, Magnésium, Potassium) et enfin, la teneur en phosphore assimilable. La teneur en phosphore, apparaît souvent comme le principal facteur limitant de la fertilité chimique forestière. Elle est généralement inférieure à 50 mg/kg, soit 5 à 6 fois moins que dans un sol agricole.

L'évaluation quantitative passe par deux options : soit un calcul des stocks à l'hectare sur une profondeur de référence (c'est ainsi que Duchaufour définit 4 classes de fertilité pour la tranche de sol 0-70 cm), (tableau 2) soit une mesure de la somme des bases échangeables (Ca + Mg + K + Na, en centimolles/kg). Le taux de saturation ou S/T d'un horizon représente la part (en %) des charges négatives de la capacité totale d'échange (T) qui fixe des nutriments à l'état de cations. La différence (T S) représente la part des cations « acides (l'ion hydrogène et l'aluminium échangeable) » sans intérêt nutritionnel ou nocifs. Les sols acides où cette part de l'acidité est forte (plus de 50%) sont donc pauvres en bases, et d'une médiocre fertilité chimique. Par ailleurs, les variations en profondeur du rapport S/T apportent des indications sur le degré d'évolution du sol. Le coût de ces analyses amène parfois à se contenter de quelques paramètres indicateurs mesurés dans le seul horizon de surface, comme le pH, avec un test colorimétrique peu coûteux.

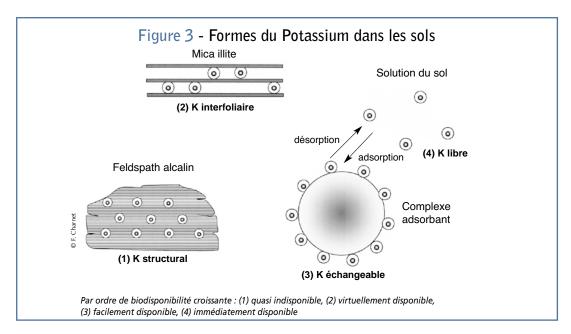
² Milieux où il n'y a plus d'oxygène.



Pour le choix ou l'interprétation des analyses en général, il faut veiller à utiliser la méthode la plus pertinente, car il en existe parfois plusieurs (Baize, 2000; Mathieu, 2003). Pour le pH, par exemple, on a le choix en France entre deux méthodes : pH eau ou pH KCl. ; pour la capacité d'échange, à côté de la méthode de Metson à pH 7 pratiquée par la quasi-totalité des laboratoires, est disponible depuis quelques années la méthode dite « au pH du sol » (extraction avec un sel neutre, tel que le chlorure de cobaltihexamine), plus adaptée aux sols acides, que sont beaucoup de sols forestiers. Cette remarque sur les méthodes s'impose particulièrement pour le phosphore. ou selon que l'on utilise les vieilles méthodes (Dyer pour les sols acides, ou Joret-Hebert pour les sols carbonatés), la méthode plus récente d'Olsen (en voie de banalisation mais hélas peu pertinente pour les sols forestiers, car sous-estimant le phosphore assimilable par les racines ectomycorhizées), ou celle spécifiquement forestière - mais proposée par peu de laboratoires - élaborée par Duchaufour, les quantités de phosphore « assimilable » extraites peuvent varier dans un rapport de 1 à 3. Le client, l'aménagiste ou le chargé d'étude auront donc intérêt à évoquer cette question préalable en discutant avec un conseiller du laboratoire.

Encore plus synthétiques et plus robustes, les méthodes de diagnostic basées sur les indicateurs semi-quantitatifs de niveau trophique, utilisées massivement pour la caractérisation des stations forestières depuis les années soixante-dix, sont recommandées pour leur faible coût et leur sûreté. En croisant des critères sur la morphologie des humus, le pH (estimé dans l'horizon A avec un test colorimétrique de terrain), et/ou les plantes indicatrices (analysées par groupes écologiques, selon *la Flore Forestière Française*, Cf. tableau 2), on peut situer un sol dans une échelle de niveaux trophiques qui correspond – peu ou prou – à une échelle de fertilité actuelle, produit de la station et des pratiques culturales.

En revanche, cette méthode n'est pas adaptée pour suivre l'influence de pratiques sylvicoles sur la fertilité. Pour ce faire, il faut passer par un calcul des divers stocks (réserves minérales et organiques du sol, immobilisations dans les peuplements et les litières) et idéalement, pour comprendre leur évolution, connaître les flux qui les relient au sein du cycle biogéochimique (Cf. figure 2). La distinction évoquée antérieurement (Cf. article 1) entre la fertilité à long terme - déterminée principalement par la constitution minéralogique du sol – et la fertilité à court terme -qui exprime la part des éléments immédiatement disponibles- ajoute au diagnostic de la productivité des informations sur la sensibilité du sol à des pratiques culturales appauvrissantes (raccourcissement des rotations de taillis, étrépage des humus, récolte accrue des « petits bois ») et les mesures de restauration envisageables (fertilisations, introduction d'espèces améliorantes). La spéciation des éléments minéraux, qui est l'inventaire de leurs diverses



formes chimiques, est donc capitale pour prévoir leur contribution à l'alimentation minérale de l'arbre. Or, elle n'est pas toujours connue dans ses détails, en particulier pour les formes « intermédiaires » ou transitoires entre les éléments sous forme structurale (inclus dans les minéraux sous forme stable (relevant donc de la fertilité à long terme) et ceux sous forme échangeable (voir l'exemple du potassium, figure 3).

Sur ces questions, il y a malheureusement peu de données. Des analyses de sols approfondies faites sur un nombre restreint de sites, à l'occasion d'un programme ADEME sur les rémanents, révèlent que la fertilité « à court terme », qui représente globalement le pôle des nutriments assimilables, représente souvent moins de 2 % des stocks totaux des sols en ces mêmes éléments, et 2-5 % dans les horizons de surface plus ou moins riches en matières organiques. Sur un sol pauvre, comme un sol de pente acide à blocs de quartzite à réserves minéralogiques quasi nulles, c'est donc un stock faible et vite épuisé par des surexploitations. De plus, la part résiduelle des réserves minérales n'est pas toujours rapidement libérée pour reconstituer ce stock assimilable entamé, si on a affaire à un sol très siliceux, pauvres en minéraux altérables (cas des sols sur terrains leucogranitiques du Limousin ou du Morbihan), et particulièrement sous climat tempéré, où l'altération géochimique est faible (en anglais, l'altération se nomme weathering, faisant explicitement référence au climat). La méconnaissance de ce flux d'altération est souvent le maillon faible dans l'établissement du cycle biogéochimique. On y supplée en recourant à des valeurs provenant de recherches expérimentales (méthodes des minéraux-tests enfouis dans les sols), menées dans des situations comparables.

Dans les situations communes, où les composantes du cycle biogéochimique ne sont pas connues, on peut procéder par analogie avec des sols comparables dûment étudiés. Dans ce cas, le cycle biogéochimique sert, *a minima*, de cadre formel pour prévoir, en tendance, la réaction d'un sol à l'égard d'un type de gestion forestière.

Dans les situations courantes, le gestionnaire corrigera ces appauvrissements constatés par des fertilisations ou des amendements compensatoires, dont l'effet est plus rapide et mieux maîtrisé. C'est la démarche préconisée dans un premier guide commandé par l'Ademe sur la gestion des rémanents (2006). La gestion conservatoire passe par des modèles de sylviculture dits extensifs qui prélèvent peu sur les stocks et/ou recyclent une forte proportion des prélèvements, souvent de manière différée. Ce sont le plus souvent des peuplements mélangés à base de feuillus. Les fuites profondes d'éléments minéraux pendant la période de drainage hivernale sont faibles et plus ou moins compensées par les apports météoriques (pluviolessivats) qu'ils soient d'origine naturelle ou qu'ils proviennent de pollutions azotées d'origine agricole. Ces phénomènes d'eutrophisation, fréquents dans les bois des paysages de gâtine³, dans les ilots forestiers en général cernés par des terres cultivées, sont à l'origine des forêts « rudérales4 ». Ils enrichissent les sols forestiers, mais font le désespoir des naturalistes pour l'altération et la banalisation de la flore accompagnatrice qu'ils provoquent.

En cas d'appauvrissement, la restauration du niveau de fertilité des sols appauvris par l'intensification (feuillardage⁵ des taillis de châtaignier dans le Sud-Ouest) ou par des pratiques soustractives (étrépage⁶, (voir photo page suivante) récoltes du sous-étage comme celle de la fougère-aigle dans le Limousin, pour suppléer

³ Paysage des régions pauvres à sols peu fertiles, imperméables, acides, établis sur des schistes ou des granites.

⁴ Milieu involontairement modifié à cause de l'activité ou la présence de l'homme.

⁵ Fabrication de cercles de barriques, de lattes ou d'échalats généralement à partir de taillis de châtaignier.

⁶ Pratique visant à décaisser et à exporter le sol superficiel et la végétation.



Etrépage en Sologne, une pratique appauvrissante. Elle est notamment exclue dans le standard de gestion forestière durable PEFC.



Plantation de pins envahie par les genêts (Poigny, 78).

au manque de fourrages, par exemple) passe par des apports compensatoires en nutriments sous la forme d'engrais ou d'amendements calco-magnésiens. Le choix de la forme du produit, de sa composition et les doses sont établis en routine d'après des recommandations locales empreintes d'empirisme et s'appuient parfois sur des résultats d'expérimentations, si possible après une analyse identifiant les carences ou déséquilibres manifestes (synthèse dans Bonneau, 1995). Malgré une couverture encore faible de la diversité du terrain par les références, des tentatives de modélisation quantitative offrant la possibilité d'un calcul précis des apports ont été proposées (logiciel REGESOL).

La technique des cultures améliorantes intercalaires ou associées est une option de génie écologique forestier encore marginale, parfois ancienne (accompagnement de lupin pérenne dans les plantations de pins en Allemagne au XIX^e siècle), qui a été redécouverte avec le développement récent de l'agroforesterie.

Dans les sols dégradés par une acidification consécutive à plusieurs cycles successifs de futaie résineuse ou par l'invasion du sousétage par les Ericacées, on observe fréquemment la substitution d'un humus de type mor au moder ou dysmoder d'origine (PONGE et al., 2000), qui peuvent être restaurés – au moins partiellement – par la réintroduction de bouleaux en sous-étage. Dans les sols sableux, acides mais encore peu évolués (sol à tendance podzolique morphologiquement peu affirmée) la monoculture résineuse peut aggraver la podzolisation et l'appauvrissement en nutriments : c'est pourquoi on y recom-

mande les peuplements mélangés, ou l'alternance de peuplements feuillus et résineux. La migration des bases en profondeur (mobilisation chimique) y est en effet réversible du fait de la (re)mobilisation biologique des éléments en surface, associée à l'amélioration du recyclage de la matière organique. En revanche, les minéraux argileux dégradés ne peuvent être restaurés, car la néoformation d'argiles est quasi inexistante sous climat tempéré. Cette restriction est toutefois marginale, eu égard à la pauvreté en argiles des matériaux sableux concernés par ces phénomènes (moins de 5 % de la terre fine). Les taillis de feuillus sous futaie de pins relèvent de ces techniques. En Angoumois (plateau d'Horte), l'association taillis de châtaigniers - futaie de pin maritime répond plus à la volonté de diversifier les produits récoltés (perches ou parquets de châtaigniers, grumes de pins); en Sologne, les associations - visibles encore ça et là - de futaies de pin sylvestre et d'un taillis de robinier - ajoutent un effet améliorant. Mais, dans ces peuplements vieillis, le robinier dépérit assez vite, et la pratique est du reste en déclin. Dans les premiers stades de plantations de pins, le couvert de genêts (créé ou spontané) [Photo ci-dessus] est un facteur d'amélioration, qui peut remplacer un amendement organique. Un facteur limitant pour ces pratiques est la concurrence pour l'eau, qui peut avoir un effet antagoniste, si les conditions d'alimentation en eau sont faibles. C'est le cas des sols sableux à faible réservoir utilisable et où les racines des arbres ne peuvent solliciter l'appoint d'une nappe moyennement profonde en saison de végétation.

Fertilité biologique

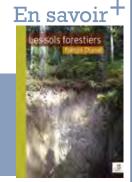
Les nutriments disponibles dans le sol ont une origine multiple et une histoire complexe. On sait cependant que la matière organique est une source importante de nutriment (libérés lors de sa décomposition), qu'elle contribue à fixer de façon réversible par ses charges électronégatives (substances humiques), ou à immobiliser par réorganisation dans de nouvelles molécules. Or ces échanges et/ou transformations qui caractérisent les grands cycles (cycles de l'azote, du soufre, du fer) impliquent la microflore et la faune du sol.

La composante biologique de la fertilité est moins bien connue que les autres. Un premier obstacle est d'ordre méthodologique : les méthodes de diagnostic direct de l'activité biologique (étude de la faune et de la flore du sol, étude microbiologique) sont assez rares et sortent de l'expertise courante ; de plus, les spécialistes de ces questions sont peu nombreux, et paradoxalement semblent en voie de raréfaction, au moins en France. Quant aux laboratoires qui proposent ces analyses à titre de prestations commerciales, ils sont encore plus rares. C'est donc un domaine où le forestier ne disposera que d'informations générales issues des travaux de recherche. Pour le diagnostic microbiologique, les méthodes récentes basées sur l'extraction de l'ADN (Cf. Karimi et al., 2018) apportent des renseignements taxonomiques et phyllogénétiques sur la flore bactérienne présente dans les sols, mais ne mesurent pas les phénomènes biochimiques dus à ces populations, comme les méthodes traditionnelles développées par S. Wlinograsky à l'Institut Pasteur et par ses continuateurs (Dommergues, Mangenot, 1971). Celles-ci, avant des dosages chimiques, passent par l'identification des groupes bactériens fonctionnels au microscope optique (éventuellement en conoscopie) sur des préparations obtenues après la mise en culture de suspensions de sols sur des substrats adaptés ou par étude directe de lames enfoncées dans le sol, ne modifiant pas les conditions de croissance des populations bactériennes contrairement aux mises en culture.

À défaut, il pourra mettre à contribution des indices d'activité biologique basés sur des techniques chimiques (évaluation de la biomasse microbienne, tests de minéralisation) proposés depuis quelques années par des laboratoires agronomiques. Pour l'heure, elles sont encore peu utilisées. Les forestiers jugent donc le plus souvent de l'activité et du bon état biologique des sols par ses manifestations visibles : formes d'humus, traces d'activité de la faune des sols, et quelques paramètres chimiques de base, comme le traditionnel rapport C/N. Des manuels ou guides opérationnels ont été spécialement dédiés à cet usage (Jabiol et al., 2007 : Gobat et al., 2011). Ces méthodes font d'ailleurs l'objet de sessions de formation.

Le récent manuel *Les sols forestiers* (Charnet, 2018) rassemble une partie des tableaux ou grilles de décision évoqués dans cet article, et quelques autres sur le site :

https://www.foretpriveefrancaise.com/publications/voir/671/les-sols-forestiers/n:541



Bibliographie

- Baize D.- *Guide des analyses courantes en pédologie*. Editions de l'INRA, Paris, 2^e édition, 2000. 257 p.
- Bonneau M., 1995 Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. Editions de l'ENGREF, Nancy, 367 p.
- Cacot E., Eisner N., Charnet F., Leon P., Ranger J., 2006 *La récolte des rémanents en forêt. Collection connaître et agir.* Ademe, Angers, 36 p. (https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/33691_remanents.pdf)
- Charnet F., 2017 Etude des impacts de la récolte de l'humus sur la fertilité des sols forestiers, Fiche de cas n°13-2, in : Ducommun et Lucot E., Les cartes et les données pédologiques, des outils au service des territoires. Educagri Editions, Dijon, 176 p.
- Dommergues Y., Mangenot F.,1970 *Ecologie microbienne des sols*. Masson, Paris, 769 n
- Charnet F., 2018 Les sols forestiers, Editions IDF-CNPF, Paris, 160 p
- Drenou C. (coord.), 2006 *Les Racines, face cachée des arbres*. Institut pour le Développement Forestier, Paris, 335 p.
- Gobat J.-M., Arago M., Matthey W. Le sol vivant; bases de pédologie, biologie des sols (3e édition). Presses Universitaires et Universitaires Romandes, Lausanne, 2011, 817 p.
- Karimi B., 2018 *Atlas français des bactéries du sol*, Biotope éditions -MNHM, Paris, 192 p.
- Jabiol B., Brethes A., Ponge J-F., Toutain F., Brun J.-J., 2007 L'humus sous toutes ses formes (2º édition). Editions de l'ENGREF, Nancy, 68 p.
- Landmann G., Ranger J., 2013 Ateliers Regefor (opus cit.)
- Mathieu C. et Pieltin F., 2003 Analyse chimique des sols ; méthodes choisies. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 2003, 387 p.
- Ponge J.-F., Charnet F., Allouard J.-M., 2000 Comment distinguer dysmoder et mor?; l'exemple de la forêt domaniale de Perche-Trappe (Orne), Revue Forestière Française, 52 (1), pp. 23-37.

Résumé

Les gestionnaires sont confrontés à des problèmes concrets de conservation et de mise en valeur des sols, à des chutes de potentialités ou des déclins de santé des peuplements forestiers. Face à ces problèmes mettant en cause la fertilité des sols, ils ne disposent que de connaissances disparates et encore peu éprouvées pour prendre des mesures. On peut citer parmi celles-ci les corrections par fertilisation issues de la pratique agronomique et globalement peu pratiquées en forêt car elles restent les mieux argumentées. L'évaluation et la maîtrise des déterminants physiques et biologiques, dont l'importance ne fait pas de doute mais dont les mécanismes sont moins connus, nécessitent un développement des recherches. Cet état des lieux mitigé confirme la pertinence des fondamentaux que constituent le choix des essences et d'un modèle de sylviculture adapté pour une bonne gestion forestière.

Mots-clés: fertilité (diagnostic et gestion), productivité des sols.

Préserver la fertilité des sols forestiers

par Alba Departe, Ademe



Circulation des machines et récolte de bois énergie doivent être raisonnées afin de limiter les impacts sur la fertilité des sols.

- ¹ La bioéconomie recouvre l'ensemble des activités de production, transformation, distribution et gestion des bioressources ainsi que le traitement biologique des déchets. Ces activités ont en commun l'utilisation de ressources et matières premières et secondaires provenant du « monde du vivant », toutes issues de la photosynthèse des plantes et de processus biologiques multiples.
- ² Menus bois : branches et tiges de diamètre inférieur à 7 cm.
- Appels à projets : Reacctif (REcherche sur l'Atténuation du Changement ClimaTique par l'agriculture et la Forêt) de 2012 à 2016, puis Graine (gérer, produire et valoriser les biomasses) depuis 2017.
- Landmann G., Nivet C. (coord.) 2014. Projet Resobio. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Angers : ADEME, Paris : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt GIP Ecofor. Rapport final, 243 p. https://www.ademe.fr/projetresobio-gestion-remanents-forestiers-preservation-sols-biodiversite
- Articles scientifiques issus de Resobio: Achat D.-L. *et al.*, "Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth—A meta-analysis", Forest Ecology and Management, 348, p. 124-141, 2015 Achat D. L., *et al.*, "Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting", Nature-Scientific reports, 5, 15991, 10 p., 2015.
- 5 Augusto L., Pousse N., Legout A., Seynave I., Jabiol B., Levillain J. 2018. INSENSE: Indicateurs de SENSibilité des Ecosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse. 262 p. https://www.ademe.fr/insenseindicateurs-sensibilite-ecosystemesforestiers-soumis-a-recolte-accruebiomasse

RESOBIO, Gerboise, Insense, Respire, Tamobiom, derrière tous ces sigles se cachent des projets financés par l'Agence pour le développement de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, l'Ademe. L'amélioration des pratiques de récolte des rémanents forestiers pour protéger la biodiversité et la fertilité des sols rassemble tous ces projets.

Quels sont les enjeux pour l'Ademe ?

L'Ademe participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle aide ainsi au financement de projets de recherche et de développement (R&D) et de transfert, depuis la recherche de solutions jusqu'à leur mise en œuvre. Dans le cadre de la transition écologique et énergétique vers une économie bas carbone, un développement accru de l'utilisation de la biomasse est attendu. Accompagner le développement de filières durables d'utilisation de la biomasse préservant les sols et les écosystèmes est un enjeu clé de la stratégie bioéconomie¹ de l'Agence.

Dans la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, des objectifs ambitieux ont été définis pour le bois énergie. L'Ademe contribue à son déploiement en accompagnant massivement la mise en place d'installations collectives et industrielles de production de chaleur (800 M€ d'aides environ entre 2009 et 2018). Elle soutient également la R&D sur l'amélioration de la performance environnementale des procédés et conduit des analyses des impacts environnementaux à l'échelle des filières intégrant la production et la mobilisation du bois. Ces dix dernières années, une augmentation forte de la récolte commercialisée de bois énergie est constatée, et tout particulièrement des plaquettes forestières, pour assurer l'approvisionnement des chaufferies. En lien avec celle-ci, l'évolution des pratiques de gestion forestière et de récolte de bois, de plus en plus mécanisées, est à l'origine de la collecte de parties de l'arbre particulièrement riches en éléments nutritifs jusqu'ici laissés sur le parterre de coupe, appelés rémanents forestiers : ce sont les feuillages, les menus bois², voire les souches. Ces nouvelles pratiques nécessitent de prendre des précautions pour ne pas impacter la fertilité des sols et préserver les écosystèmes. Le gestionnaire a un rôle clé à jouer pour permettre l'augmentation des prélèvements tout en maintenant la fertilité des sols. Quels sont les principaux résultats des travaux accompagnés par l'ADEME?

L'Ademe soutient depuis une dizaine d'années des projets de recherche multi-acteurs dans le cadre d'appels à projets régulièrement lancés (Reacctif puis Graine³). Une vingtaine de projets de recherche ont bénéficié depuis 2012 d'une aide globale de l'Agence d'environ 4 millions d'euros sur la thématique forêt (gestion, bilan environnemental et climatique, disponibilité des ressources...). Ils incluent l'amélioration des connaissances de l'impact de la récolte des rémanents forestiers sur la fertilité chimique et biologique des sols. Les travaux accompagnés contribuent à créer une dynamique collective et visent à fournir des outils de diagnostic et des conseils de bonnes pratiques aux gestionnaires.

Pilotée par le Groupement d'intérêt public écosystèmes forestiers, le GIP-ECOFOR, l'étude RESOBIO « Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité »4 a montré dès 2014 que la fertilité chimique est significativement impactée, sur des durées supérieures à 10 ans, par la récolte des feuillages et des menus bois ou souches ; il en est de même pour le stock de carbone dans la biomasse morte et sur l'ensemble du profil de sol. Dès lors, des récoltes successives risquent d'appauvrir les sols et d'affecter la productivité des peuplements. Quels sont les sols les plus sensibles à ces pratiques ? Le projet Insense « INdicateurs de SENsibilité des Ecosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse »5, co-piloté par l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) et l'Office national des forêts (ONF), a permis de réaliser une carte nationale de sensibilité des sols aux exportations d'éléments minéraux : seulement 30 % des sols forestiers métropolitains peuvent être considérés comme peu sensibles (Cf. carte). Autrement dit, des précautions doivent être prises dans 70 % des cas. Pour

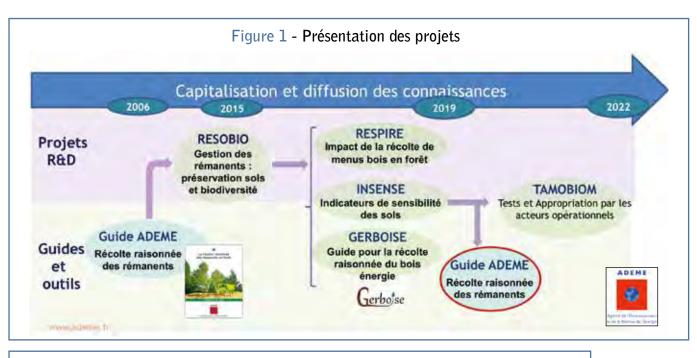


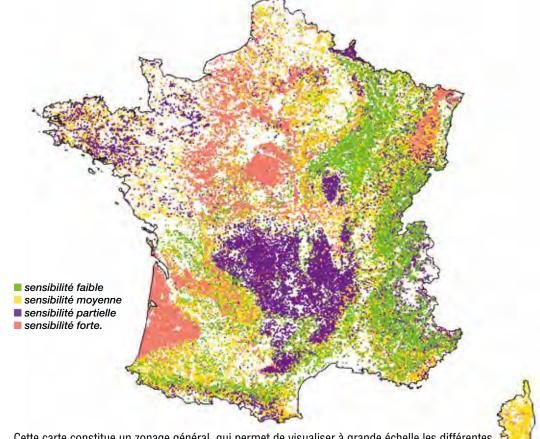
Figure 2 - Sensibilité à l'export d'éléments minéraux des sols forestiers

Faible	Modérée	Partielle (1)	Forte	
30 % du territoire	23 % du territoire	24 % du territoire	23 % du territoire	

Le % du territoire est calculé en utilisant la base de données de sol « BIOSOL » du réseau systématique de suivi des dommages forestiers à maille carrée 16 x 16 km.

(1) Une sensibilité « partielle » indique que le sol en question a une sensibilité forte pour une partie des nutriments seulement (Agusto et Pousse, 2018 ; projet INSENSE).

Localisation géographique des zones plus ou moins sensibles



Cette carte constitue un zonage général, qui permet de visualiser à grande échelle les différentes zones. On constate une très forte régionalisation des contraintes. Un diagnostic local est indispensable dans la majorité des cas. Pour les régions très homogènes en terme de diagnostic, on pourra éventuellement s'en dispenser, mais la consultation du « Livret de terrain INSENSE* » est préconisée dans tous les cas.

https://www. ademe.fr/sites/ default/files/assets/ documents/ insense_indicateurssensibiliteecosystemesforestier-2018-outil. pdf

Le projet Insense : production d'un indicateur de sensibilité des sols à une récolte accrue de biomasse

Noémie Pousse, ONF

Les effets à long terme d'un export supplémentaire de biomasse sur la fertilité du sol ne sont pas toujours négatifs. Mais ils peuvent l'être ce qui nécessite que les forestiers identifient les sols susceptibles de supporter, ou non, un tel export.

Le projet R&D Insense¹ (2014-2017), financé par l'Ademe dans le cadre de l'appel à projets Reacctif (REcherche sur l'Atténuation du Changement ClimaTique par l'agriculture et la Forêt), a visé la création d'un indicateur de sensibilité des sols à une récolte accrue de biomasse à la fois fiable, peu cher, toutterrain et facile d'utilisation.

La résistance d'un sol à une grande exportation d'éléments nutritifs dépend en grande partie de sa capacité à fournir des éléments nutritifs aux arbres. Celle-ci dépend elle-même des apports extérieurs (altération des minéraux du sol et de la roche-mère, dépôts atmosphériques) et de la capacité de recyclage biologique des nutriments (notamment via la décomposition du feuillage tombé au sol). La sensibilité des sols à l'exportation minérale est liée à l'importance quantitative de ce recyclage. À ce jour, la composition du sol en calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), phosphore (P) et azote (N) constitue le meilleur indicateur analytique de l'importance de ce recyclage pour la fertilité.

Un outil de terrain simple et capable d'estimer la richesse en nutriments des sols – et donc leur résistance à une exportation accrue de biomasse – a été construit et son ergonomie testé grâce à l'implication d'utilisateurs potentiels. Sur les deux plans de la fiabilité et de la simplicité, il présente une amélioration par rapport à l'outil jusqu'à présent disponible (Cacot et al., 2006) : les résultats de l'indicateur de terrain sont globalement en accord avec ceux de l'indicateur basé sur les analyses chimiques, et il a été bien apprécié par les futurs utilisateurs. En pratique, cet outil de diagnostic de terrain est composé de 5 clés de détermination prédisant la sensibilité d'un sol forestier pour chacun des 5 éléments nutritifs majeurs à partir de 5 descripteurs du sol³: la grande région écologique (Greco, définie par l'IGN⁴), la forme d'humus, la classe de texture à 10 cm de profondeur, la profondeur d'apparition des carbonates dans la terre fine et la profondeur prospectable par les racines (jusqu'à 25 cm de profondeur).

Un sol pouvant être peu sensible pour un élément nutritif (par exemple le calcium) mais très sensible pour un autre (par exemple le phosphore), un indice synthétique de sensibilité est calculé. Il combine toutes les sensibilités obtenues pour les 5 éléments. Cet indice synthétique s'exprime en quatre classes : faible, moyenne, forte et partielle. La sensibilité dite partielle indique qu'une partie des nutriments majeurs sont présents en quantités suffisantes dans le sol alors que d'autres sont en quantités très limitées.

➡ En résumé, l'indicateur Insense permet au gestionnaire forestier de diagnostiquer aisément, sur le terrain et de manière relativement fiable, la capacité d'un sol à maintenir sa fertilité dans le cas d'un export supplémentaire d'éléments nutritifs. Actuellement sous la forme de fiches de terrain, l'indicateur Insense sera prochainement disponible sous la forme d'une application pour smartphone nommée For-eval.

- 1 https://www. ademe.fr/insenseindicateurs-sensibiliteecosystemesforestiers-soumisa-recolte-accruebiomasse
- ² Cacot, E. et al. 2006. La récolte raisonnée des rémanents en forêt, Connaître pour agir. Ademe, AFOCEL, IDF, UCFF, INRA.
- ³ https://www.ademe. fr/sites/default/files/ assets/documents/ insense_indicateurssensibiliteecosystemes-forestier-2018-outil.pdf
- 4 https://inventaireforestier.ign.fr/spip. php?rubrique211

- 6 Landmann G., et al., 2018. Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie - Focus sur les menus bois et les souches. Paris : ECOFOR, Angers: ADEME, 50 p.
- Cacot E., Deleuze C., Boldrini C. (coord.) (2018). Observatoire des pratiques de récolte du bois énergie et évaluation d'outils de flux. Projet GERBOISE – Gestion raisonnée du bois énergie. Verneuil-sur-Vienne : FCBA, Angers: ADEME, 51 p. +
- Landmann G., Augusto L., Bilger I., Cacot E., Deleuze D., Gosselin M., Pousse N. (coord.), 2018. Projet GERBOISE, Gestion raisonnée de la récolte de bois-énergie. Synthèse. Paris: ECOFOR, Angers: ADEME, 7 p. Paris.
- 7 Saint-André L., et al., 2019. RESPIRE - Récolte des menus bois en forêt - Potentiel, Impact, Indicateurs et remédiations par épandage de cendres de bois. 111 pages.

https://www.ademe.fr/respire-recoltemenus-bois-foret

aider le gestionnaire dans sa prise de décision, une démarche de diagnostic simple et robuste, s'appuyant sur des observations de terrain, a été librement mise à disposition pour évaluer le niveau de sensibilité aux exports de rémanents (Cf. ci-dessus). Paru en mars 2019, le guide « Gerboise : Gestion raisonnée de la récolte de Bois Energie »6, piloté par le GIP-ECOFOR, fait la synthèse des recommandations à destination des acteurs de la filière bois-énergie.

Plus exploratoire, le projet Respire « Récolte des menus bois en forêt »7, piloté par l'INRA, a mis en évidence que la récolte des rémanents pouvait affecter rapidement la biodiversité des sols, en particulier la faune et la micro-flore. Cependant, on observe une forte variabilité selon les contextes. Des suivis de plus longue durée sont nécessaires pour évaluer et comprendre les effets sur le fonctionnement de l'écosystème et, in fine, proposer des recommandations aux gestionnaires.

Le potentiel de compensation par le retour

au sol des cendres de chaufferies a également été étudié dans les projets RESOBIO et Respire. En effet, bien que l'encadrement réglementaire actuel n'autorise pas cette pratique, elle mérite d'être explorée car elle peut contribuer à relever temporairement le pH des sols et à compenser la perte de certains éléments nutritifs⁸ liée à l'exportation des minéraux. Les suivis expérimentaux menés dans Respire ont apporté des éléments rassurants sur le risque de lessivage des éléments traces métalliques⁹ contenus dans les cendres, tout en mettant en évidence que la perte de matière organique¹⁰ avait des effets sur la biodiversité au sol. Une enquête réalisée dans le cadre de Respire a montré que, si les conditions techniques, économiques et réglementaires permettaient l'épandage de cendres, la majorité des propriétaires forestiers enquêtés seraient prêts à le mettre en œuvre. Sous réserve que son impact positif sur la productivité du peuplement soit démontré, les propriétaires enquêtés accepteraient de payer pour

cette pratique (de 100 à 400 € par hectare et par révolution). Cependant, ce consentement à payer restant inférieur au coût estimé de l'apport de cendres, la mise en place de cette pratique nécessiterait une réflexion sur un accompagnement financier approprié. Les travaux nécessitent encore d'être poursuivis, notamment pour mieux évaluer l'impact dans la durée de cette pratique sur la biodiversité et la matière organique des sols.

Quelles perspectives?

Dans les priorités de l'Ademe, il y a le transfert des enseignements de recherche et outils développés vers les professionnels. Au-delà du premier séminaire de restitution des travaux organisé en juin 2018¹¹, l'Ademe vient de lancer l'élaboration d'une brochure à destination des gestionnaires et mobilisateurs de biomasse. Elle sera publiée au second semestre 2020, et tout l'enjeu ensuite sera d'assurer sa diffusion, idéalement à travers la formation. Afin d'aller plus loin, le projet Tamobiom lancé en 2019 « Tests et Appropriation par les acteurs opérationnels de nouveaux MOdèles technico-économiques pour une récolte durable de BIOMasse forestière »12 permettra de décliner opérationnellement les recommandations de Gerboise en testant de nouvelles pratiques économiquement viables. À titre d'exemple, il est recommandé, dans les situations à risque, de laisser une partie des menus bois sur le parterre de coupe. Il reste alors à valider des techniques de mise en œuvre sur les chantiers, et à chiffrer l'impact sur le bilan économique (opération supplémentaire, moindre volume de bois récolté).

Le développement et l'expérimentation d'outils d'aide à la décision donnant une vision globale des impacts au gestionnaire (fertilité, stockage de carbone, biodiversité, réserve en eau...) ainsi que des recommandations croisées est également un enjeu important. Il s'agit ici de poursuivre l'accompagnement des travaux permettant de mieux évaluer l'impact des pratiques de récolte de bois sur la fertilité du sol (biologique, chimique et physique) ainsi que sur les stocks de carbone et la biodiversité. Enfin, il nous semble essentiel de s'assurer que les données acquises dans les différents travaux, qu'ils soient de recherche ou non, soient capitalisées dans le système d'information national sur les sols (www.gissol.fr) afin de permettre la construction des référentiels d'interprétation nécessaires au développement des outils. À titre d'exemple, c'est le rassemblement et l'harmonisation de données correspondant à plus 13 000 échantillons de sols qui ont permis l'élaboration de l'outil de diagnostic Insense.

- Les pertes d'azote ne sont pas compensées par le retour au sol des cendres, car cet élément est en grande partie volatilisé lors de la combustion.
- Éléments métalliques présents dans les écosystèmes (eau, air, sol, organismes vivants), parfois appelés métaux lourds (Chrome, Cuivre, Nickel, Zinc...). Ils proviennent d'apports naturels ou anthropiques.
- 10 Car la matière organique, source d'énergie pour les organismes du sol, est brûlée lors de la combustion.
- 11 Séminaire « Comment préserver les sols forestiers dans un contexte de récolte accrue de bois ? » Lien pour télécharger le compte rendu : http://www.francilbois.fr/images/actualites/25062018_seminaire_sols_forestiers_compte_rendu_vf.pdf
- 12 FCBA, INRA, IRSTEA, GIP ECOFOR, ONF, GCF Tests et Appropriation par les acteurs opérationnels de nouveaux MOdèles technico-économiques pour une récolte durable de BIOMasse forestière (TAMOBIOM). Projet retenu dans le cadre de l'APR GRAINE 2018.

Quelques définitions relatives au « bois-énergie »

Rémanents: résidus d'exploitation forestière laissés sur le parterre de coupe, après prélèvement des compartiments d'intérêt pour le bois d'œuvre (grumes), le bois industrie (surbilles de tiges) et du bois bûche. Ils regroupent les branches de diamètre inférieur à 7 cm (menus bois) et, par extension, les chutes de découpe, le feuillage et les souches, et certaines tiges et branches de diamètre supérieur à 7 cm non valorisées.

Menus bois : concernent les cimes et branches de moins de 7 cm habituellement laissées sur coupe mais qui peuvent être mobilisées à des fins énergétiques.

Plaquettes forestières: fragments ou copeaux de bois obtenus par déchiquetage. Elles sont le résultat du broyage par des engins mécanisés des rémanents d'une exploitation forestière, d'arbres ou de portions d'arbres de faible diamètre ou valeur. Elles constituent de loin la source d'approvisionnement la plus importante des installations collectives et industrielles de chauffage, alors que le bois bûche représente la première source des unités de combustions individuelles.

Bois-énergie : valorisation énergétique de la biomasse sous forme de plaquettes forestières, mais également de bûches, briquettes, granulés de bois (pellets), plaquettes d'industrie, broyat de bois recyclé et écorce broyée. Par abus de langage, on réduit souvent le bois-énergie à la composante « plaquettes forestières ».

Résumé

Depuis quelques années, l'Ademe finance des projets pour mieux évaluer les impacts de l'exportation de rémanents forestiers sur la fertilité des sols mais aussi sur la biodiversité. Cet article présente ces projets, il livre quelques premiers éléments intéressants comme le fait que seuls 30 % des sols forestiers métropolitains sont considérés comme peu sensibles à l'exportation de la biomasse. Ces projets doivent permettre d'orienter les actions sur le terrain pour accompagner la mise en œuvre des objectifs ambitieux de la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

Mots-clés: bois-énergie, fertilité des sols, biodiversité, Ademe, projets

Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie¹

par Guy Landmann, GIP Ecofor

La récolte de biomasse forestière pour l'énergie est en forte augmentation. Des précautions – adaptées aux conditions locales – sont nécessaires pour qu'elle soit durable. C'est l'objet de recommandations récemment publiées sous l'égide de l'Ademe.

1 Cet article s'appuie largement sur un des produits du projet Gerboise « Gestion raisonnée de la récolte de bois-énergie » financé par l'Ademe (2015-2018). Ce travail a mobilisé un groupe d'une vingtaine d'experts (Landmann et al., 2019).

En savoir⁺

https://www.ademe. fr/sites/default/files/ assets/documents/ gerboise-guiderecommandations-2018.pdf

- ² La définition des principaux termes rémanents, menus bois, bois-énergie,... est donnée dans l'encadré de l'article page 33.
- 3 Les principaux guides sont disponibles sur le portail Gerboise : http://www.gipecofor.org/gerboise/index. php?sujet=11
- ⁴ Le bois bûche constitue néanmoins en volume la principale récolte de bois énergie.

ne utilisation intensive de la biomasse forestière peut entraîner la dégradation de la biodiversité par le biais de changements dans la nature et l'intensité de l'utilisation des sols. C'est la situation qu'on a connu bien avant le Moyen Âge jusqu'au milieu du XIX^e siècle, période pendant laquelle la forêt était une source d'énergie majeure pour l'ensemble des activités économiques. Puis, ce débouché s'est réduit considérablement avec la mise en œuvre de gisements de charbon, puis de pétrole, de gaz naturel et d'uranium, avant de connaître, en France comme dans beaucoup d'autres pays, une forte expansion sous l'impulsion des pouvoirs publics (Departe, ce volume) : cela se traduit par la mise en place de chaufferies collectives et de centrales de cogénération biomasse. Ces dernières nécessitent une production importante de plaquettes forestières, élément structurant de la filière bois-énergie².

La loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (2016) prévoit une poursuite soutenue de cette croissance pour les prochaines décennies. Dans ce contexte, les attentes des décideurs politiques et de la société civile sont fortes et parfois contradictoires. Pour s'engager dans une filière exemplaire à haute performance environnementale, les acteurs concernés doivent être éclairés, notamment par le biais de recommandations techniques adaptées.

Notons que la France a été, il y a quinze ans, parmi les premiers pays à se doter d'un document intitulé « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » (Cacot et al., 2006), dans le contexte du développement naissant du boisénergie. Depuis, les modalités d'exploitation

du bois-énergie ont fortement évolué, avec l'arrivée d'engins mécanisés plus sophistiqués et de grande capacité, alors que les préoccupations relatives aux atteintes possibles aux écosystèmes se sont accrues et diversifiées. C'est pourquoi l'Ademe a souhaité actualiser le guide de 2006 pour mettre à disposition des opérateurs de terrain des recommandations et des conseils sur les pratiques de récolte de bois-énergie, particulièrement des compartiments menus bois et souches.

Des guides similaires ont été produits au cours des 5-15 dernières années, surtout dans les pays anglophones (USA, Canada, Royaume-Uni, Irlande), en Europe du nord (Suède, Finlande) et, dans une moindre mesure, en Europe tempérée³.

Les grandes préoccupations et les compartiments de l'arbre concernés

La fertilité minérale des sols et la biodiversité sont les domaines majeurs traités dans le guide Gerboise (et dans les guides étrangers), alors que le tassement des sols, leur érosion, la préservation des eaux et des zones humides en forêt sont traités de manière moins approfondie, à partir de guides existants.

Les effets de la production de bois bûche⁴ sur les écosystèmes sont considérés comme peu néfastes et ne sont pas traités ici ; tout comme les taillis à courte et à très courte révolution, d'extension spatiale limitée, qui s'apparentent davantage au modèle agricole.

Les recommandations portent sur la récolte des compartiments de bois laissés en forêt jusqu'à récemment (mais, éventuellement, récoltées durant la période historique évoquée plus haut) :



Exploitation d'un taillis pauvre de châtaigner avec un sécateur sur pelle, débouché bois énergie.

- (i) les menus bois (branches de diamètre inférieur à 7 cm),
- (ii) les arbres entiers de petits diamètres non valorisables sur les marchés traditionnels et,
- (iii) les souches.

Bois-énergie : uniquement des effets négatifs ?

Les recommandations présentées ici s'entendent face à des effets potentiellement « négatifs » pour permettre d'améliorer la situation, la récolte accrue de bois-énergie a, du point de vue des acteurs forestiers, des effets positifs ; ainsi, elle ouvre des perspectives de valorisation sylvicole : réalisation d'opérations sylvicoles qui, autrement, seraient trop coûteuses, transformation de taillis vieillissants, etc. En outre, la réduction de la quantité de combustibles végétaux devrait avoir une influence positive dans les régions exposées aux incendies de forêt.

Un guide en quatre parties, qui a vocation à évoluer

Les quatre parties sont autant d'étapes pour l'utilisateur :

- 1. La compréhension des cibles et les mécanismes en jeu : il s'agit, pour le lecteur, d'être sensibilisé aux enjeux et de comprendre pourquoi des mesures de précaution sont souhaitables dans certaines conditions.
- 2. Le diagnostic des contraintes à prendre en compte au niveau de la parcelle forestière : le document Gerboise comporte des méthodes de diagnostic récemment établies dans le cadre de projets de recherche-développement (voir Departe, ce volume). Leur utilisation nécessite dans tous les cas un apprentissage.
- 3. Les précautions à prendre dans le cas de l'exportation des menus bois et de souches : c'est le cœur et la partie la plus « sensible » du guide, et, on le comprend aisément, la partie qui a donné le plus de fil à

retordre à ses rédacteurs.

4. Les précautions communes: si une récolte de bois-énergie est prévue dans une parcelle en pente ou traversée par un cours d'eau, les précautions d'usage devront être prises. Considérant que les guides concernés ne sont pas forcément connus de tous, une version résumée en est donnée dans le guide Gerboise.

Si certaines recommandations ont une base large, explicite et indiscutable (fertilité chimique), d'autres reposent sur une connaissance partielle que les experts interprètent en fonction de leur expérience. Ces « dires d'experts » intègrent souvent l'incertitude, le risque, voire, avec mesure, le principe de précaution. Par ailleurs, certaines recommandations apparaissent plus ou moins difficiles à mettre en œuvre sur un plan technique et économique par les professionnels. Pour ces raisons, ce document a vocation à évoluer dans le temps, sur la base des retours d'expérience et de résultats expérimentaux.

Pourquoi prendre des précautions lors des récoltes de bois-énergie ? (partie 1 du guide)

Les connaissances sur les écosystèmes forestiers progressent rapidement, et les principaux mécanismes en jeu sont assez bien connus. Pour autant, les avis divergent sur le fait de savoir si on recommande bien les précautions qui se justifient, ou si on n'en fait « trop » ou « pas assez ». Un opérateur non convaincu sera généralement bien sûr peu enclin à suivre les recommandations de bonnes pratiques.

Pour préserver le potentiel de production

Mécanismes en jeu : le prélèvement des menus bois et surtout du feuillage exportent une grande quantité d'éléments minéraux, ce qui entraîne notamment une baisse de production assez durable de bois par diminution de la fertilité des sols. La baisse n'est pas forcément considérable (elle a été chiffrée à 7 % en moyenne dans le cadre d'une étude bibliographique mondiale menée dans l'étude Resobio, voir Departe, ce volume) mais il faut raisonner en termes de risques : elle peut être considérable dans certains cas.

Indicateurs de vulnérabilité: on estime qu'environ 1/4 des sols forestiers métropolitains sont très sensibles à l'export d'éléments minéraux, et seulement 30 % d'entre eux, les plus riches, peuvent être considérés comme peu sensibles (voir Departe, ce volume).

Pour préserver la biodiversité, notamment celle liée au bois mort et au sol

Mécanismes en jeu : si l'exploitation forestière tend à favoriser la diversité d'espèces héliophiles et péri-forestières (flore, insectes floricoles) en augmentant les lisières et l'arrivée de lumière au sol, elle a globalement un effet négatif sur la diversité d'espèces typiquement forestières comme les mousses, champignons, coléoptères saproxyliques ou carabiques⁶. Le bois mort est le support d'une biodiversité forestière originale et au rôle fonctionnel essentiel. La récolte de menus bois ou de souches modifie la quantité et la diversité des types de bois mort, en fragmentant le bois mort préexistant par le passage des engins, et en diminuant l'apport de gros bois mort si les âges d'exploitabilité diminuent. Les menus bois et souches, mais également les gros bois vivants et morts au sol, fruitiers et essences secondaires sont autant de structures favorables à la diversité.

Indicateur de vulnérabilité: 2 % du territoire métropolitain bénéficient actuellement d'un statut de protection très fort et d'une absence de récolte de bois (dont le bois-énergie) sous ce statut, et 1/5° de la forêt bénéficie de statuts aux enjeux et contenus très variables de protection de la biodiversité (Natura 2000 majoritairement).

Pour éviter le tassement et l'érosion des sols forestiers

Mécanismes en jeu : le tassement par les engins d'exploitation, particulièrement en période hivernale, occasionne des dégâts aux sols très peu réversibles. Cette question mérite d'autant plus d'attention que les chantiers sont actuellement réalisés presque indifféremment en hiver ou en été et qu'il y a de moins en moins de sols gelés.

Indicateur de vulnérabilité: les sols forestiers métropolitains sont globalement assez sensibles, puisqu'on évalue que seulement 1/5° des sols forestiers métropolitaines ne sont pas

sensibles au tassement et que 1/5° sont très sensibles.

L'érosion de sols forestiers peut se déclencher partout où la pente dépasse 25 %.

Pour limiter la perturbation des cours d'eau et des zones humides

Mécanismes en jeu : les risques potentiels concernent l'érosion, l'altération des berges et la dégradation des zones humides.

Indicateur de vulnérabilité: pas moins de 11% des placettes de l'inventaire forestier comportent un cours d'eau (rivière, ruisseau, ru), une mare ou une mardelle, soit environ 1,5 million d'hectares de la forêt de production (hors peupleraie), alors que les zones humides sont présentes dans 10 % des placettes de l'Inventaire Forestier National et que 4 % des placettes possèdent une hydromorphie forte en surface.

Quels sont les outils de diagnostic disponibles ? (partie 2 du guide)

Pour déterminer la sensibilité du sol à l'exportation d'éléments minéraux

Un diagnostic basé sur 5 critères qualitatifs a été mis au point dans le cadre du projet Insense (voir dans l'article page 29).

- la forme d'humus,
- → la texture à 10 cm de profondeur,
- la zone écologique (Grandes Régions Ecologiques GRECO de l'IGN),
- ➡ la profondeur de sol : supérieure ou inférieure à 25 cm,
- ➡ la profondeur d'apparition de l'effervescence à l'acide chlorhydrique (HCI) : supérieure ou inférieure à 25 cm.

Pour déterminer l'état et la vulnérabilité de la biodiversité

En l'absence d'outil capable d'indiquer un état précis ou un déficit de biodiversité au niveau de la parcelle, les précautions à prendre seront dérivées de la situation – à vérifier – de la parcelle du point de vue de sa protection vis-à-vis de la biodiversité. Les zones forestières métropolitaines sont pour :

- environ 77 % du territoire forestier sans statut réglementaire ;
- près de 21 % du territoire forestier avec un statut de protection « intermédiaire » ;
- moins de 2 % du territoire forestier avec statuts de protection très forts.

Un relevé aussi précis que possible des éléments (arbres) supports de biodiversité est par contre recommandé. Il consiste à faire le tour

- ⁵ Les organismes saproxyliques, du grec sapros, en décomposition et xylos, le bois, sont des organismes qui dépendent du bois mort pour leur cycle de vie.
- Qui appartiennent à la famille des carabes, scarabées terrestre se nourrissant entre autres de vers de terre et de mollusques.

7 Les guides Prosol (2009) et Pratic'Sols (2017) donnent les informations précises sur les risques liés au tassement des sols. Pratic'Sols fait l'objet d'un article dans le dossier « sols forestiers » de Forêt entreprise, n° 242.

Tableau 1 - Proportion de menus bois à laisser sur coupe en fonction du statut de biodiversité et de la sensibilité du sol à l'exportation minérale

Statut de protection	Sensibilité des sols à l'exportation minérale*			
de la biodiversité	Faible	Modérée	Forte	
Pas de statut particulier Laisser au moins 1/10e de menus bois		Laisser au moins 3/10° Récolte de me de menus bois	Récolte de menus bois déconseil- lée**	
Statuts intermédiaires	Laisser au moins 2/10 ^e des menus bois	Laisser au moins 3/10° de menus bois	Récolte de menus bois déconseil- lée	
Statuts forts	Récolte de menus bois fortement déconseillée (lorsqu'elle n'est pas déjà interdite)			

^{*} les sols de sensibilité « partielle » sont classés à sensibilité forte ou modérée selon le classement expliqué en page 31

du chantier avec les opérateurs (conducteurs d'engins, bûcherons) avant le début des travaux, pour repérer les éléments sensibles⁸:

- les pièces de bois mort : chandelles, chablis isolés, gros et vieux bois morts au sol, souches.
- les îlots comportant de grosses quantités de bois morts,
- les arbres vivants constituant des supports de biodiversité, arbres à cavités, gros et vieux arbres, isolés ou en îlots.

Pour déterminer la sensibilité au tassement des sols à l'érosion (sols en pente)

Pour le risque d'érosion, une clé de diagnostic de sensibilité des sols en pente établie dans le cadre du projet Insense montre l'incidence des facteurs:

- pente : le seuil de 25 % partage assez nettement les sols sensibles et peu sensibles,
- taux de couverture végétale forestière. Le propriétaire ou gestionnaire ou donneur d'ordre fera cette inspection avant le début des travaux, en associant les conducteurs d'engins et/ou bûcherons.

Recommandations pour la récolte de menus bois et des souches (partie 3 du guide)

Les trois recommandations-clés concernent le feuillage, les menus bois et les souches, dans le cadre des opérations de récolte de bois pour la production de plaquettes forestières. La recommandation concernant l'exportation de feuillage concerne toutes les conditions, notamment de sols, alors que celles portant sur la récolte des menus bois et des souches dépendent des conditions locales : sensibilité des sols à l'exportation d'éléments minéraux et statut de protection de la biodiversité (voir les recommandations 2 et 3 ci-après).

Recommandation 1 : Éviter l'exportation de feuillage

Récolter les essences à feuillage caduc de préférence hors feuilles, à défaut, lais-

- ser défeuiller les bois sur la parcelle avant débardage.
- Pour les essences à feuillage caduc, jouer sur la période de récolte et sur la durée de ressuyage des houppiers sur la parcelle. La durée suggérée est de 3 mois, mais la chute effective des feuilles prime sur la durée recommandée.

Avertissement: on entend parfois dire qu'une récolte occasionnelle de feuillage ne serait pas un problème. Le « bon sens » est ici mauvais conseiller, car les feuilles qui tombent à l'automne restituent au sol les nutriments que l'arbre avait prélevés durant l'année précédente, mais en aucun cas ne l'enrichissent : une seule exportation de feuillage affecte durablement la nutrition et la croissance.

Recommandation 2:

Raisonner l'exportation des menus bois

Les proportions de menus bois qu'il est recommandé de laisser ont été déterminées de façon à ce qu'elles permettent de s'assurer que les réserves du sol pourront compenser l'exportation de nutriments et garantir le maintien de la fertilité.

- Espacer les récoltes de menus bois d'au moins 15 ans sur sols peu sensibles et 30 ans sur sols modérément sensibles (afin de permettre au sol de recharger ses stocks de nutriments).
- Concentrer les récoltes de menus bois sur certains stades de la vie d'une futaie régulière ou d'un mélange futaie-taillis : dépressages, 1^{res} éclaircies (arbres entiers) ou coupes définitives (houppiers entiers). Lors des autres coupes (coupe d'amélioration, autres éclaircies), limiter la récolte au bois fort uniquement.
- Assurer la protection des sols dans les cloisonnements. L'utilisation des menus bois disposés dans les cloisonnements permet d'assurer la protection physique des sols dans les cloisonnements lorsque l'état de portance du sol le nécessite. Ces menus bois sont souillés et leur récolte n'est plus envisageable.

Le guide propose des modalités d'exploitation

Un état plus circonstancié de la parcelle et, le cas échéant, des parcelles voisines, pourra être réalisé via des diagnostics IBP, indices de Biodiversité Potentielle (Larrieu et Gonin, 2010).

^{**} une éventuelle compensation par fertilisation est envisageable selon des conditions opérationnelles bien définies.

Tableau 2 - Modalités d'extraction des souches en fonction du statut de protection de la biodiversité du site considéré et de la sensibilité des sols à l'exportation d'éléments minéraux

* les sols de
sensibilité
« partielle » sont
classés à sensibilité
forte ou modérée
selon le classement
expliqué en page 32.

** Parmi les sites
Natura 2000, il faut
distinguer les habitats
forestiers fermés
(dans lesquels la
récolte de souches
est déconseillée) et
les milieux ouverts
où différentes
interventions, dont
le dessouchage,
peuvent avoir leur
place.

Statut de protection de la	Sensibilité des sols à l'exportation d'éléments minéraux*			
biodiversité	Faible	Modérée	Forte	
Pas de statut particulier	En cas de récolte de biomasse souterraine, n'extraire que : - la souche, - la racine pivot, les bases des grosses racines, - les grosses et moyennes racines	En cas de récolte de biomasse souterraine, n'extraire que : - la souche, - la racine pivot, - les bases des grosses racines	En cas de récolte de biomasse souterraine, n'extraire que : - la souche, - la racine pivot	
Statuts intermédiaires	Récolte de souches déconseillée**			
Statuts forts	Récolte de souches fortement déconseillée (lorsqu'elle n'est pas déjà interdite)			

permettant de laisser une quantité donnée de menus bois selon les types de coupes (1^{res} éclaircies, relevés de couvert, coupes de taillis, coupes d'ensemencement). Ces recommandations techniques nécessiteront pour partie une validation ou une inflexion à l'avenir.

Recommandation 3 : Raisonner la récolte des souches

Alors que la récolte des menus bois est pratiquée à plusieurs stades de développement des peuplements, sur diverses essences et sur tout le territoire métropolitain, la récolte des souches n'est pratiquée qu'une seule fois au cours de la vie du peuplement, après coupe rase. Elle est réservée aux peuplements de pin maritime sur sols à forte teneur en sable (ce qui facilite l'extraction des souches), et ses produits sont réservés à des unités industrielles très spécifiques, les chaufferies classiques n'étant pas en mesure de les utiliser.

Lors de ces récoltes, il est recommandé de :

- ➡ Limiter les récoltes aux coupes finales, donc de ne pas pratiquer le dessouchage en coupes d'éclaircie sauf en cas de nécessité sanitaire (fomes³).
- Limiter la proportion de sol perturbé et éviter d'extraire les souches dans des sols à texture fine (risque d'export de particules de sol, de déformation du sol et de pertes de fertilité physique et chimique).
- Laisser des souches en place (10% au moins), de préférence autour des îlots de feuillus ou de vieux bois, en bord de fossés ou des cours d'eau, les souches de feuillus, en indiquant dans les documents de gestion les zones où elles doivent être laissées prioritairement.
- Sélectionner les parties des souches à récolter selon les types de sol (tableau 2).

De manière générale, éviter d'extraire les racines traçantes et les racines fines, et privilégier l'emploi d'une technique permettant de n'extraire que la racine pivot et la base des racines pivotantes.

Recommandations pour les différents types de récolte, dont le bois-énergie (partie 4 du guide)

Préserver les éléments supports de biodiversité

Ces recommandations se retrouvent, sous une forme approchante, dans le cadre des certifications PEFC (2017) et FSC (2017) et dans l'instruction sur la conservation de la biodiversité dans les forêts publiques (ONF, 2009). Elles s'appliquent à tous les types de coupe, dont les coupes des menus bois ou des souches à des fins énergétiques. Elles sont à mettre en œuvre sauf en cas de contre-indication sanitaire prioritaire.

- Préserver les pièces de bois mort : il s'agit : (i) de chandelles et chablis isolés, (ii) de gros bois morts au sol (pièces de diamètre > 20 cm), (iii) de souches préexistantes, (iv) d'îlots comportant de grosses quantités de bois morts (peuplement après tempête, dépérissant ou sans récolte depuis plusieurs décennies).
- Préserver les arbres vivants constituant des supports de biodiversité : il s'agit (i) d'arbres isolés à cavités, gros ou vieux (sauf incompatibilité avec la sécurité du chantier ou en bordure de voie de circulation), (ii) d'îlots de gros et vieux arbres vivants dans les peuplements en contenant en abondance, d'au moins 0,5 ha mais qui peuvent être nettement plus grands si les conditions s'y prêtent.
- Préserver les fruitiers et autres essences

Le fomes est un champignon racinaire qui est capable de provoquer d'importantes pourritures du bois de cœur surtout chez les épicéas, et des mortalités disséminées ou en rond chez tous les résineux.

secondaires sous forme d'arbres isolés ou en bouquets, le plus souvent possible. On pourra localiser, si les conditions s'y prêtent, les îlots non exploités autour de ces essences.

Gérer les risques de tassement et d'érosion des sols forestiers

Les documents sources sont les guides PRO-SOL (2009) et PRATIC'SOLS (2017), auxquels le lecteur pourra se référer pour plus d'information. On se contente ici des principaux éléments (les facteurs permanents de texture et de pierrosité auront été préalablement diagnostiqués).

- Bien choisir l'entreprise et son matériel de récolte selon la sensibilité diagnostiquée des sols.
- Mettre en place un réseau de cloisonnement, où les engins se déplaceront systématiquement, y compris dans les coupes rases, après avoir disposé des menus bois sur les cloisonnements.
- Adapter l'exploitation aux conditions du sol: ne démarrer le chantier que si la portance des sols est suffisante, suivre les facteurs de pluviosité et d'humidité du sol durant la période prévue pour le chantier, exploiter en priorité les parcelles sensibles lorsque le sol est sec ou gelé, abattre et débarder (espacés d'un temps de ressuyage) hors des périodes de sensibilité du sol au risque de tassement. Prévoir une procédure d'interruption en cas d'orniérage.

Les mesures de prévention de l'érosion sont détaillées ci-après en lien avec la préservation de la qualité des eaux et des zones humides en forêt.

Préserver la qualité des eaux et les zones humides en forêt

Des guides spécifiques sont disponibles :

- 1) Sylviculture et cours d'eau guide des bonnes pratiques (Ecuvillon et Mennessier, 201419), et
- 2) Règlement national d'exploitation forestière (ONF, 2008). Certains aspects non mentionnés ici tels des franchissements temporaires de cours d'eau, sont soumis à l'agrément de l'autorité administrative (Code de l'Environnement R.214-1 et suivants).
- Eviter de mettre à nu les sols, surtout en situation de pente. Laisser des menus bois dispersés au sol, en quantités d'autant plus importantes que le sol est pentu, sensible à l'érosion à forte composante de sable et limons dans les 10 premiers centimètres, et que la végétation est peu couvrante après la

coupe. On laissera en place au moins 2/10° de menus bois si la pente est supérieure à 25 % et au moins 1/10° des souches bien réparties au sein de la parcelle, en évitant leur récolte en cas de pente supérieure à 25 %. Enfin, on limitera la taille des coupes rases : la surface maximale de référence suggérée est de 2 à 5 ha en situation de pente (≥ 30 %, préconisations PEFC).

- protéger les bords de cours d'eau pour préserver des berges stables, éviter de mettre de la terre dans les cours d'eau et préserver des habitats sensibles. On prendra les précautions suivantes sur une bande d'au moins 5 m : ne pas faire circuler d'engins au bord du cours d'eau ; élargir la bande à 10 ou 15 m selon la pente et le type d'engins ; préserver un cordon végétal autour du cours d'eau. La distance de référence suggérée est 5-10 m. Là où un dessouchement peut s'envisager, ne pas dessoucher au bord du cours d'eau.
- Préserver les zones humides, en évitant d'exploiter lorsque le sol est saturé d'eau, de circuler à proximité des zones humides (10 à 30 m, selon le contexte), et en effectuant les abattages directionnels pour éviter les zones sensibles.

En guise de conclusion

La réalisation d'un guide sur la récolte raisonnée de bois-énergie est une étape importante, mais le travail ne s'arrête pas là pour autant : les recommandations doivent être confrontées à la réalité du terrain, afin d'en préciser l'opérationnalité et les impacts technico-économiques. Les retours d'expérience et des expérimentations ciblées permettront de juger plus précisément leur efficacité et d'ajuster ultérieurement, si nécessaire, certaines recommandations. Un effort important de sensibilisation et de formation de différents publics sera nécessaire pour que les recommandations soient connues, comprises et largement mises en œuvre.

Bibliographie

Cacot E., Eisner N.,
Charnet F., Léon P.,
Rantien C. , Ranger J.,
2006. La récolte raisonnée
des rémanents en forêt.
Connaître et agri, ADEME,
AFOCEL, IDF, INRA,
Union de la Coopération
Forestière Française. 36 p.

https://www.ademe. fr/recolte-raisonneeremanents-foret

- Landmann G., Augusto L, Bilger I., Cacot E., Deleuze D., Gosselin M, Pousse N. (coord.), 2019. Projet GERBOISE, Gestion raisonnée de la récolte de bois-énergie. Synthèse. Paris: ECOFOR, Angers: ADEME, 7 p. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese-gerboise-2018. pdf
- Landmann G., Augusto L., Pousse N., Gosselin M., Cacot E., Deleuze C. Bilger I., Amm A., Bilot N., BoulangerV., Leblanc M., Legout. A., Pitocchi S., Renaud J.-P., Richter C. Saint-André L., Schrepfer L., Ulrich E., 2019. Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie -Focus sur les menus bois et les souches. Paris: ECOFOR, Angers: ADEME, 50 pages

https://www.ademe. fr/sites/default/files/ assets/documents/ gerboise-guiderecommandations-2018. pdf

https://www.fcba.fr/ sites/default/files/ files/GUIDE%20 PRACTIC'SOLS_WEB%20 vdef.pdf

Résumé

Le guide Gerboise, pour « Gestion raisonnée de la récolte de bois énergie », est une actualisation des connaissances de guides précédents dont celui de 2006. Il a vocation à aider les gestionnaires forestiers et entrepreneurs de travaux forestiers à mieux appréhender les enjeux liés aux sols et à la biodiversité lors des exportations de biomasses. L'attention est portée sur l'exportation des feuilles, des branches fines, mais aussi des souches. Des recommandations édictées en fonction des contextes écologiques et de sensibilité des milieux permettent d'orienter les opérateurs vers de bonnes pratiques.

Mots-clés: bois énergie, préservation des sols, biodiversité, guide, biomasse

Gestion durable et biodiversité par Cécile Nivet, XYLOFUTUR des sols forestiers

Michaël Aubert et Matthieu Chauvat, Université de Rouen, Laboratoire ECODIV





Ces deux articles sont issus d'une synthèse publiée en 2018 dans le cadre du programme incitatif de recherche « Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques » (BGF) du ministère de la transition écologique et solidaire. Animé par le Groupement d'intérêt public Ecofor et soutenu par le ministère en charge de l'agriculture, il visait à développer les connaissances nécessaires à une prise en compte effective de la biodiversité dans la gestion forestière au sens large, c'est-à-dire de l'exploitation forestière à la gestion d'espaces boisés protégés. Depuis sa création en 1996, il a permis le soutien de 39 projets et généré de nombreuses publications, recueils et synthèses qui contribuent à éclairer les politiques publiques. Retrouvez l'intégralité de cette synthèse ainsi que sa bibliographie sur le site « Biodiversité. gestion forestière et politiques publiques », sous l'onglet

Biodiversité & Politiques publiques

"Publications" : http://bgf.gip-



ecofor.org/







Première partie

Que sait-on de la biodiversité forestière des sols et de ses rôles?

Alors qu'elle soutient la production de l'ensemble des biens et des services rendus par les écosystèmes, la biodiversité des sols forestiers reste à ce jour largement méconnue. Cependant, de par l'intérêt croissant qu'on lui porte et grâce aux progrès dans les techniques d'analyse, les écologues et les biologistes des sols se mobilisent pour mieux la caractériser et l'évaluer.

Qu'est-ce que la biodiversité des sols et comment l'appréhender?

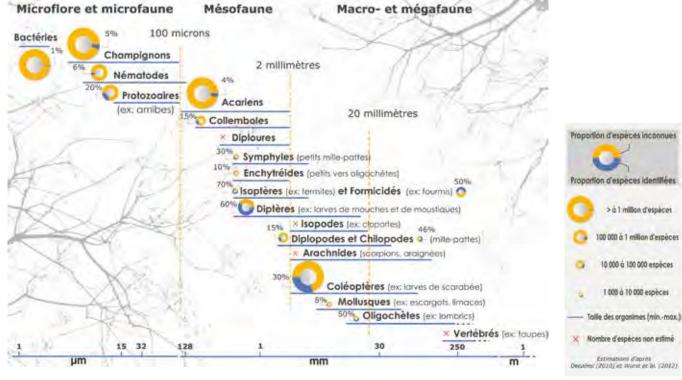
Les sols sont des écosystèmes parmi les plus hétérogènes et les plus diversifiés qui existent sur notre planète mais aussi parmi les plus méconnus du point de vue de la biodiversité qu'ils hébergent. À l'échelle globale, ils renfermeraient environ un quart des espèces décrites alors même que la plupart des organismes qui les peuplent restent à identifier (Figure 1). Ils abritent notamment une multitude de microorganismes - un gramme de sol abriterait près d'un milliard de bactéries ou encore cent mille champignons (individus) - et de petits animaux, principalement des invertébrés comme des vers de terre, des insectes, des araignées... La biodiversité des sols forestiers comprend l'ensemble des organismes vivants dont au moins une partie du cycle biologique se déroule dans les horizons pédologiques enrichis en matière organique : l'horizon organo-minéral (A) et les horizons totalement organiques supérieurs (O). Les animaux vivant en dehors du sol mais creusant des terriers ou s'y abritant (taupes, blaireaux, lapins...) font aussi partie de la faune du sol (Figure 1). Les racines des végétaux sont étroitement associées à la biodiversité des sols avec laquelle elles interagissent de multiples façons, notamment en s'associant à des champignons mycorhiziens¹. Les espèces peuvent être regroupées selon différentes classifications. La plus traditionnelle, la classification taxonomique, consiste à rassembler les espèces en fonction de leurs liens de parenté. Mais de nombreux regroupements complémentaires sont possibles selon la taille, le régime alimentaire ou bien encore le rôle fonctionnel des organismes du sol.

1 De leur nom issu des termes grec myco, « champignon » et rhiza, « racine », ces champignons vivent en symbiose avec certaines plantes en colonisant leurs racines grâce à leur mycélium (partie du champignon en fins filaments).

a biodiversité est un concept complexe qui revêt plusieurs dimensions (composition, structure, fonction) et s'applique à plusieurs niveaux (gène, espèce, écosystème) en interaction. Quel que soit le système de classification adopté, la biodiversité peut être appréhendée par différentes mesures ou indices. Au niveau de l'espèce, c'est la richesse spécifique qui est la plus souvent utilisée. Elle consiste à évaluer le nombre total d'espèces observées (Figure 1). Cependant, elle ne tient pas compte des différences entre espèces, qu'il s'agisse de leurs exigences (écologiques, trophiques) ou de leurs fonctions dans l'écosystème. C'est pourquoi il est conseillé de l'associer au minimum à des mesures d'abondance (nombre d'individus, biomasse) pour chaque espèce. Mieux encore, elle peut être évaluée à l'intérieur de différents groupes écologiques ou trophiques (Figure 2). Ces informations sont de plus en plus souvent associées à des mesures de caractéristiques biologiques (taille des pattes, capacité de dispersion, taille des appendices buccaux) mesurées sur les individus afin de faire émerger les liens directs entre la composition des assemblages d'espèces et le fonctionnement du sol. Très prometteuses, ces approches sont néanmoins lourdes à mettre en œuvre car elles nécessitent une identification visuelle de la morphologie des espèces dans la mesure où les nouvelles techniques de séquençage de l'ADN environnemental² ne permettent généralement pas de mesurer ces caractéristiques biologiques.

² ADN environnemental : est défini comme l'ADN pouvant être extrait à partir d'échantillons environnementaux, tels que l'eau, le sol ou les fèces, sans avoir besoin d'isoler au préalable des organismes cibles.

Figure 1 - Principaux groupes d'organismes des sols forestiers en fonction de leur taille, de leur richesse spécifique (nombre d'espèces) et de la proportion d'espèces connues à l'échelle globale Adaptée de Swift (1974) et enrichie d'après Decaëns (2010) et Wurst et al. (2012)



Parmi tous ces groupes d'espèces, les microorganismes sont de loin les plus nombreux et les plus divers. La microflore (bactéries, champignons) et la microfaune (nématodes, protozoaires) représenteraient environ 70 % de l'activité biologique (respiratoire) des sols forestiers, loin devant la méso- et la macrofaune (30 % au plus de l'activité).

Quelles fonctions écologiques la biodiversité des sols assuret-elle au sein de l'écosystème forestier?

La biodiversité des sols est essentielle au fonctionnement de l'écosystème forestier. Elle intervient en particulier dans les processus biogéochimiques, notamment les cycles du carbone et des nutriments comme l'azote et le phosphore. Elle contribue aussi de façon importante à la structuration des sols, en modifiant leur porosité, grâce aux vers de terre par exemple, et leur cohésion, grâce aux champignons mycorhiziens par exemple. Les multiples rôles que l'on peut attribuer aux organismes des sols et à leurs assemblages peuvent être regroupés en trois catégories principales de fonctions complémentaires qui s'exercent en interaction les unes avec les autres, tantôt en synergie, tantôt en opposition.

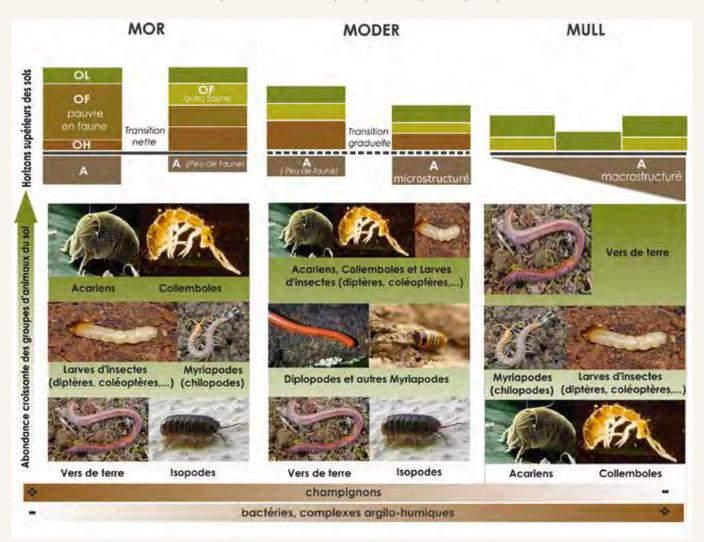
L'entretien et la réhabilitation de l'habitat : par leurs actions mécaniques, les « ingénieurs physiques », des macro-invertébrés pour l'essentiel (cloportes, mille-pattes, vers de terre, termites, fourmis...), ont un impact à long terme sur la structuration des sols

(porosité) et la distribution spatiale des ressources en matière organique et en eau. Ce groupe interfère largement avec les deux suivants.

- La transformation chimique des matières organiques et le recyclage des nutriments : les « ingénieurs chimistes » des sols (champignons et bactéries principalement) transforment la matière organique en éléments minéraux ou la recombinent à d'autres molécules (argiles, oxydes) pour aboutir à la formation de molécules complexes plus ou moins stables (complexes argilo-humiques).
- La régulation de la décomposition de la matière organique, des maladies et des parasites: les « régulateurs » sont essentiellement des petits invertébrés (nématodes, collemboles, acariens) qui composent les chaînes alimentaires (micro-réseaux trophiques) et contrôlent la dynamique des populations de microorganismes des sols.

Enfin, n'oublions pas que les espèces pathogènes et les parasites représentent une part non négligeable des organismes du sol. Dans des conditions particulières, l'abondance de

Figure 2 - Abondance des groupes d'organismes dans les trois principales formes d'humus³ forestiers Adaptée de Gobat *et al.* (2010) et Jeffery *et al.* (2013)





Le fonctionnement biologique des sols est parfois appréhendé par l'appartenance à l'une des trois formes principales d'humus, MULL, MODER, MOR. Toute modification de l'environnement se traduit en effet par une évolution de la forme d'humus, via des changements dans l'abondance et la composition des communautés animales et microbiennes du sol.

Les formes d'humus de type mull sont généralement observées dans les sols neutres à moyennement acides correspondant d'ordinaire aux phases de régénération et de maturité avancée des peuplements forestiers. La matière organique est rapidement incorporée à la matière minérale sous l'action des vers de terre et en grande partie recyclée par les bactéries et leurs cortèges de consommateurs (ex. nématodes, amibes).

Les formes d'humus de type moder s'observent généralement dans les stades de développement intermédiaires. Elles se caractérisent par un recyclage en surface (incorporation à la matière minérale moins importante) sous l'action de la mésofaune (ex. acariens, collemboles), des macro-arthropodes (ex. myriapodes) associés à l'activité plus importante des champignons.

Les formes d'humus de type mor apparaissent quant à elles sous fortes contraintes édaphiques (acidité du sol) ou climatiques (froid) limitant quasi totalement l'activité de la faune et très fortement celle de la microflore bactérienne (recyclage lent). Les champignons et les micro-arthropodes (collemboles, acariens) restent les plus actifs dans ces formes d'humus.

désigne l'ensemble des matières organiques du sol transformées par voie biologique et chimique (Thaer, 1809). La morphologie et la succession des horizons supérieurs du sol dont l'organisation est sous l'influence essentielle de l'activité biologique permettent de définir une « forme d'humus » (Müller, 1887) qui inclut les résidus d'origine végétale peu transformés (ex. litière) et incomplètement incorporés à la fraction minérale du sol. L'humus contribue à la fertilité et à la conservation des sols forestiers : il constitue un réservoir nutritionnel important pour les plantes (potassium, ammonium, magnésium, calcium), permet de stabiliser la structure des sols, réquie leur humidité.

Tableau 1 - Estimations de l'abondance en forêt de quelques groupes d'espèces à l'échelle mondiale, d'après Coleman *et al.* (2004) et Yeates (2007)

	Abondance (nombre d'individus par m²) (x 100)
Nématodes	10 000 à 80 000
Acariens	500 à 3 000
Collemboles	70 à 7 000
Enchytréïdes	40 à 1 500
Vers de terre	0 à 2

ces organismes peut exploser, allant parfois jusqu'à limiter, voire menacer la croissance des peuplements forestiers. L'utilisation de ces fonctions écologiques par les humains est couramment appréhendée à travers le concept de service écosystémique (Cf. synthèse étendue⁴ pour aller plus loin).

Quelle évaluation de la biodiversité des sols forestiers

Alors que la biodiversité des sols soutient la production de l'ensemble des biens et des services rendus par les écosystèmes, elle est rarement évaluée, à la fois du fait de son ampleur et de sa complexité. De plus, l'écologie et la biologie des sols étant des disciplines relativement nouvelles, les données historiques sur les organismes des sols sont encore limitées. À l'échelle nationale, aucun réseau n'est spécifiquement dédié à l'évaluation et au suivi de la biodiversité des sols forestiers. Néanmoins, cette composante des sols a fait son entrée dans les réseaux nationaux dédiés, de par l'intérêt croissant qu'on lui porte et à mesure que les techniques d'analyse évoluent. Centrés sur la fraction microbienne des sols (bactéries, champignons), les premiers suivis issus de ces réseaux⁵ mettent en évidence l'influence principale du type de peuplement (résineux, mixte, feuillu) sur l'abondance des communautés d'espèces. Les résultats issus de ces suivis nécessitent cependant d'être consolidés.

Comment varie l'abondance des espèces dans les sols forestiers ?

L'abondance des espèces dépend de nombreux facteurs tels que la nature du matériau parental, le type de peuplement ou encore la fertilité chimique des sols (Coleman et al. 2004; Yeates 2007; Decaëns et al. 2006, 2008). Les estimations d'abondance varient aussi largement du fait de la diversité des pratiques d'échantillonnage: le prélèvement d'espèces peut tantôt se concentrer sur l'horizon organo-minéral (A) du sol, tantôt s'étendre à l'ensemble des formes d'humus (horizons O et

A). Elles varient aussi en fonction de la nature des données recueillies, tantôt en biomasse ou en nombre d'individus par mètre carré de sol, tantôt en masse d'ADN ou de carbone par gramme de sol. Enfin, rares sont les études qui échantillonnent tous les groupes taxonomiques sur les mêmes sites, ce qui complique l'estimation de leur abondance relative.

Quelles nouvelles techniques pour étudier la biodiversité totale des sols ?

Des techniques moléculaires qui utilisent des fragments d'ADN permettent désormais aux chercheurs d'identifier des spécimens (approche par code-barres d'ADN6) et de caractériser la biodiversité totale d'un échantillon de sol (approche par séquençage environnemental). L'approche par séquençage environnemental est progressivement utilisée, par exemple, pour mieux comprendre l'effet de certaines perturbations comme le tassement sur la composante biologique des sols (Frey et al., 2011) ou pour y détecter la présence d'éléments invasifs. Ces techniques permettent pour l'instant de savoir quels organismes sont présents mais ne donnent pas encore d'indications sur leur abondance réelle - l'ADN persiste parfois longtemps dans le sol une fois qu'une espèce est morte -, ni sur la variabilité de leurs caractéristiques biologiques. Les approches traditionnelles restent de ce fait incontournables pour lier biologie et fonctionnement.

- 4 Consultable à l'adresse électronique suivante : http://bgf.gip-ecofor.org/ index.php?sujet=produits
- ⁵ Le Réseau national de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) et le REseau Nationale de suivi à long terme des ECOsystèmes FORestiers (RENECOFOR).
- 6 On parle aussi de code-barres génétique ou code-barres moléculaire. L'approche consiste à utiliser un fragment standard du génome comme marqueur génétique pour identifier les espèces.

Résumé

Un quart des espèces décrites à la surface du globe habite les sols et pourtant cette diversité du vivant est encore mal connue. Elle est pourtant essentielle puisque les sols soutiennent la production de l'ensemble des biens et des services rendus par les écosystèmes. De l'infiniment petit avec les bactéries aux plus grands êtres vivants avec les vertébrés, un gramme de sol peut abriter jusqu'à 1 milliard d'individus différents! Décrire cette diversité est une tâche complexe pour laquelle les nouvelles technologies d'analyse moléculaire ouvrent des perspectives.

Mots-clés: recherche, sols forestiers, biodiversité, évaluation, fonctionnement

Deuxième partie

Comment la gestion forestière agit-elle sur la biodiversité des sols forestiers?

par Cécile Nivet, XYLOFUTUR

Michaël Aubert et Matthieu Chauvat, Université de Rouen, Laboratoire ECODIV

La sylviculture peut influencer la biodiversité des sols de multiples manières, à travers le choix des essences, la densité du peuplement ou bien encore la longueur des cycles. Il en va de même des opérations de gestion et d'exploitation dont la nature et l'intensité varient largement selon les contextes sylvicoles, pédologiques et climatiques... En y ajoutant la méconnaissance actuelle que nous avons de la biodiversité des sols forestiers et de leur fonctionnement (Cf. article précédent), toute tentative de généralisation apparaît difficile, de même que la formulation concrète de recommandations pour les gestionnaires. Des travaux de recherche ont cependant été réalisés ces dernières années, lesquels permettent de se forger un premier avis sur la question.





peut héberger plusieurs dizaines d'espèces de champignons ectomycorhiziens, à l'instar de ces jeunes chênes qui s'associent simultanément avec le bolet (A), la russule (B) ou le laccaire améthyste (C). Plus généralement, les processus en jeu au niveau des communautés mycorhiziennes1 sont complexes et vraisemblablement placés sous la dépendance forte de la litière (composés phénoliques, calcium...). En début de succession, les plantes pionnières qui recolonisent un site après une perturbation majeure ne dépendent généralement pas de la symbiose mycorhizienne. De ce fait, les champignons qui prédominent sont plutôt généralistes.

Ensuite, dans les stades de succession plus

avancés où la quasi-totalité des espèces

mycorhizienne se stabilise et les espèces

végétales est mycorhizée, la diversité

spécialistes dominent.

- 1 Dans le cas des ectomycorhizes, les filaments du champignon ne rentrent pas à l'intérieur des cellules
- vivants qui colonisent un même milieu (biotope).
- différents stades de maturité d'un peuplement.

Quelle est l'influence de la dynamique forestière sur la biodiversité des sols?

La dynamique forestière résulte de processus tels que la croissance, la mortalité et la régénération des végétaux qui modifient les conditions du milieu (quantité de lumière, aération du sol) et des ressources (qualité et quantité de litière...). Ces processus influencent à leur tour l'activité des biocénoses² du sol et donc la forme d'humus, reflet de cette activité. Il n'est pas possible de conclure quant aux effets complexes de ces dynamiques sur la biodiversité des sols en général. Quelques travaux relatifs notamment à la microflore (bactéries, champignons) et à la faune des sols fournissent quelques pistes de réflexion.

- En ce qui concerne la microflore, les résultats varient selon les études et les types de peuplements. En forêt de hêtre par exemple, Trap et al. (2011) observent globalement qu'une augmentation de la diversité fonctionnelle de la microflore accompagne la maturation des peuplements avec, en parallèle, une diminution progressive de la biomasse des bactéries et une augmentation de celle des champignons. Cependant, cette relation entre la diversité fonctionnelle et l'âge des peuplements n'apparaît pas toujours (Chauvat et al., 2003).
- En ce qui concerne la faune du sol, il est encore plus difficile de conclure. Globalement, la quantité et la complexité des matières organiques augmentent le long du gradient successionnel³; mais les liens entre matière organique et biodiversité s'avèrent complexes et variables selon la présence de certaines

Le projet IMPREBIO : impact de la densité des peuplements sur la biodiversité des sols

En intensifiant le régime d'éclaircie de son peuplement, le gestionnaire modifie la structure de toutes les strates de la végétation : il induit notamment une augmentation de la quantité d'eau et de lumière disponibles pour les strates arbustives et herbacée qui provoque en retour une augmentation de la biomasse végétale du sous-bois.

Dans le cadre du projet de recherche IMPREBIO soutenu par le ministère en charge de l'Écologie (programme BGF, tranche 2010-2013), l'influence de ces changements de végétation sur la composition et l'activité des communautés d'organismes des sols a été étudiée en futaies régulières de chênes à travers deux réseaux d'expérimentation d'envergure nationale⁴ couvrant un large gradient de densité et d'âge des peuplements (excluant néanmoins les phases de vieillissement avancé et de régénération). Les résultats de ce projet permettent notamment de formuler les messages suivants :

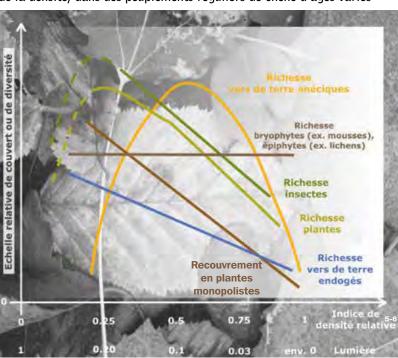
- ➡ la forme d'humus a une influence fondamentale sur les organismes du sol et leurs réponses;
- le couvert végétal de sous-bois a une influence sur les conditions microclimatiques locales (température et humidité), ce qui modifie les assemblages biologiques. La diversité de cette strate intermédiaire entre l'arbre et le sol est également source de ressources alimentaires diversifiées et sous-estimées jusqu'alors;
- la qualité de la litière, qui résulte notamment de la composition du peuplement et de sa densité, se traduit également par une variabilité des réponses des organismes du sol.

espèces végétales au sein du peuplement. Des travaux mettent pourtant en évidence l'effet du stade de développement de certaines forêts gérées d'épicéas (Salmon et al., 2008, 2011) ou de hêtres (Arpin et al., 1998 : Hedde et al., 2007; Chauvat et al., 2011) sur les formes d'humus et les communautés d'espèces associées. Ils observent en particulier que les phases de forte croissance des peuplements s'accompagnent généralement du développement de formes d'humus de type moder tandis que les phases de régénération s'accompagnent de formes d'humus de type mull. Ces travaux incitent à ce stade à faire attention à la longueur des cycles forestiers, ces derniers ayant une influence sur la vitesse de recyclage des matières organiques, avec des phases d'accélération et de décélération.

Quelle est l'influence de la sylviculture ?

Les études qui abordent cette problématique sont encore peu nombreuses au regard des multiples manières dont la sylviculture peut impacter la diversité des sols : choix d'essence, densité, longueur des cycles, manière d'exploiter les peuplements... En outre, les études qui existent se concentrent sur un nombre limité d'espèces, le plus souvent sur des taxons, groupes trophiques ou groupes fonctionnels facilement identifiables, une pratique limitant toute tentative de généralisation. Sur le choix d'essence par exemple, les études permettent rarement de comparer les types de peuplements purs (résineux, feuillus) et mélangés. Pour les écosystèmes forestiers tempérés, une méta-analyse de Korboulewsky et al. (2016) recensant une trentaine de publications scientifiques établit toutefois des liens entre la

Figure 2 - Réponse de plusieurs groupes taxonomiques à la modification de la densité, dans des peuplements réguliers de chêne d'âges variés



Représentation schématique et synthétique issue du projet de recherche IMPREBIO. Le consortium scientifique a travaillé sur les sites des réseaux du Gis coopérative de données chêne et de l'UMR Silva. Selon le contexte de sol et de climat des sites, les optimums obtenus peuvent se décaler à droite ou à gauche, voire montrer des schémas de réponses opposés en fonction des groupes fonctionnels considérés. Cette illustration peut néanmoins servir de base de réflexion pour l'élaboration d'itinéraires sylvicoles privilégiant telle ou telle dimension de la biodiversité du sol. Elle montre clairement au'il n'existe pas de densité de peuplement (Indice de densité relative sur l'axe des abscisses) qui favoriserait l'ensemble des groupes, suggérant ainsi le développement d'une vision intégrée de ces résultats à l'échelle du paysage.

Les vers épigés vivent en surface et transforment sur place la litière dont ils se nourrissent ;

les vers anéciques se nourrissent aussi de la litière mais l'enfouissent dans le sol en creusant des galeries verticales (ce sont les grands « ingénieurs » des sols) ;

les vers endogés vivent en profondeur dans le sol et assurent le brassage intime des matières organique et minérale en se nourrissant de terre et de racines (Bouché, 1972).

⁴ Réseaux du Gis coopérative de données chêne et de l'ex unité mixte de recherche (UMR) Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt – Bois (LERFoB)

⁵ Indice de densité relative, le RDI (Reineke Density Index) représente la situation d'un peuplement par rapport à un peuplement sans intervention, dit « au maximum biologique », il varie de 0 pour un peuplement hors concurrence à 1 pour un peuplement sans intervention.

⁶ Monopoliste : se dit d'une végétation ayant une capacité à accaparer l'espace et les ressources du milieu.

⁷ La palatabilité est la caractéristique de la texture des aliments agréables au palais. Elle se traduit ici par l'appétence différenciée des espèces de la litière vis-à-vis des éléments qui la

composent.

⁸ Ce type d'amendement

l'acidification. Il ne doit

consiste à rétablir un équilibre

de fertilité du sol et à limiter

pas être confondu avec les fertilisants, dont l'usage induit

des risques de pollutions

diffuses.

composition des peuplements et la biodiversité de plusieurs groupes taxonomiques du sol (vers de terre, collemboles et acariens). Globalement, le mélange d'essences est favorable à la faune du sol. Toutefois, l'identité des essences d'un peuplement joue plus que leur nombre. Malheureusement, trop peu d'études scientifiques ont été menées jusqu'à présent à grande échelle sur ce dernier point. On observe également que l'introduction d'essences feuillues dans des peuplements de résineux améliore les conditions édaphiques - souvent en améliorant la qualité (ou palatabilité⁷) de la litière –, ce qui conduit à une augmentation de la biodiversité (richesse taxonomique).

Quelle est l'influence des travaux forestiers?

Effet de la récolte des rémanents

À l'échelle d'une parcelle forestière, la localisation des résidus d'exploitation forestière (rémanents) est un des principaux facteurs influençant la distribution spatiale de la faune du sol et de ses ressources (Aubert et al., 2005; 2006). Cependant, les effets relatifs à l'exportation de ces rémanents sur les organismes du sol, notamment ceux impliqués dans le recyclage de la matière organique (les détritivores), ont été jusqu'ici très peu étudiés en France au regard d'autres groupes taxonomiques tels que les espèces associées aux bois morts (saproxyliques). En Suède, une étude multi-espèces menée en forêts de pins (Bengtsson et al., 1997; 1998) montre que l'exportation de ces résidus conduit à une modification quantitative plutôt que qualitative des assemblages d'espèces : l'abondance des collemboles chute de même que celles des acariens, des insectes prédateurs et des diptères au stade larvaires et ce, sans renouvellement d'espèces. Depuis ces travaux, les études restent très fragmentaires et très fortement concentrées sur des forêts de résineux nord-européennes et nord-américaines difficilement transposables au contexte francais. Une des rares études menées en forêt caducifoliée tempérée met en évidence une chute de l'abondance de deux espèces de vers de terre épigées en réponse à l'augmentation de l'exportation de biomasse (Jordan et al., 2000), cela ne présageant cependant pas de la réponse d'autres groupes d'espèces tels que les vers anéciques et endogés.

Le tassement peut avoir des conséquences

car il induit une diminution de la quantité d'air (notamment d'oxygène), d'eau et d'espace disponibles pour les racines et les organismes du sol. Plusieurs auteurs (Battignelli et al., 2004; Eaton et al., 2004; Nawaz et al., 2013) ont étudié les effets conjugués du tassement et de la perte de matière organique, deux phénomènes liés aux travaux d'exploitation forestière, sur différents groupes de la faune du sol. Mais là aussi, leurs résultats ne permettent pas de généraliser.

En ce qui concerne la fraction microbienne du sol, les travaux de Ranger et al. (2008) montrent que le tassement (ici combiné avec une coupe rase), entraîne une réponse très rapide des communautés présentes dans les sols forestiers. L'enlèvement du couvert forestier associé à une perturbation mécanique du sol par les engins conduit en particulier à une diminution importante de la biomasse microbienne dans les premiers centimètres du sol, avec un déplacement des activités biologiques vers la profondeur. En outre, l'avènement du séquençage environnemental a récemment permis de mettre en évidence l'augmentation des communautés bactériennes méthanogènes sous l'effet du tassement et la relative rémanence des effets mesurés, du moins à court terme (environ un an) (Frey et al., 2011).

Effet des amendements calco-magnésiens

Des travaux de thèse réalisés en forêt vosgienne acidifiée ont récemment permis d'étudier l'effet d'amendements calco-magnésiens⁸ à moyen terme (après 4 ans) et à long terme (après 20 ans) sur les communautés de macroinvertébrés du sol (Auclerc, 2012). Les résultats montrent que ces amendements ne modifient pas le nombre total d'espèces mais qu'ils induisent une diminution de l'abondance totale, avec une régression des espèces acidophiles et prédatrices (notamment de certaines espèces de chilopodes, araignées...) au profit d'espèces détritivores (isopodes, diplopodes, vers épigés...) et ingénieures (vers anéciques, fourmis...). La stabilité du nombre total d'espèces s'accompagne de surcroît d'une modification profonde de la composition des communautés, avec moins de 50 % des espèces communes entre les sites amendés et les sites témoins. Ce travail met ainsi en évidence deux tendances contrastées :

d'un côté, l'amendement apparaît néfaste puisqu'il induit une perte d'abondance globale avec remplacement d'espèces acidophiles par des espèces peut-être plus opportunistes et ce, dans des sols où la

Effets du tassement

importantes sur l'activité biologique des sols



Epandage calcomagnésien mécanisé dans une pessière adulte, dans le Morvan, réalisé à partir des cloisonnements d'exploitation (chantier de la Coopérative Forestière Bourgogne Limousin).

faune était déjà peu abondante ;

de l'autre, l'amendement calco-magnésien favorise certaines espèces ingénieures et détritivores, notamment une espèce de ver endémique (Aporrectodea velox).

D'un point de vue fonctionnel et dans la perspective de production de bois, l'amendement s'avère globalement favorable à moyen et long terme.

Et à l'inverse, est-il possible d'améliorer le fonctionnement des sols forestiers en modifiant leur biodiversité ?

Les opérations consistant à intervenir directement sur la biodiversité des sols forestiers pour améliorer leur fonctionnement (bio-ingénierie) sont rares. À l'heure actuelle, seuls les champignons, les vers de terre et les bactéries peuvent être manipulés et gérés dans cette perspective.

Quelques applications bien maîtrisées consistent actuellement à inoculer des organismes édaphiques, tantôt directement dans les sols afin de les dépolluer (bio-dégradation), tantôt en pépinières afin d'améliorer la reprise des plants en forêt. Si l'inoculation contrôlée est une technique relativement bien maîtrisée, celle qui lui succède, la transplantation, l'est beaucoup moins car les paramètres qui déterminent les processus en jeu sont mal connus. Le fonctionnement d'une essence ectomycorhizée par exemple ne correspond généralement pas à l'addition des propriétés des deux partenaires (essence-champignon) mais à un nouveau fonctionnement résultant du dialogue instauré entre eux. À cela s'ajoutent les effets de compétition qui influencent largement le

comportement du partenaire fongique. Cela constitue actuellement un frein énorme à l'essor de ces techniques et à la manipulation de la biocénose des sols (Berthelin et Munch, 2015).

Cela pose en outre d'autres questions, en particulier à l'heure où se multiplient les cas d'invasions biologiques : placée dans des conditions pédoclimatiques inédites, une espèce introduite, y compris native, peut en effet s'avérer néfaste pour l'écosystème. Ce phénomène a par exemple été mis en évidence dans le cas de l'introduction du ver de terre commun (Lumbricus terrestris) dans les forêts décidues d'Amérique du Nord (Eisenhauer et al., 2006). L'entrée à privilégier pour améliorer le fonctionnement des sols reste actuellement celle de la gestion, à commencer par le choix des essences, voire par le recours ponctuel à des amendements de type chaulage (Deleporte et Tillier, 1999; Forey et al., 2015). Pour finir, certaines espèces disparaissent d'un milieu lorsque les conditions ne leur conviennent plus : aussi, avant même d'envisager d'agir sur la biodiversité du sol, il apparaît essentiel d'identifier la cause du changement.

Résumé

Influence des stades de maturité d'un peuplement, de la sylviculture, des travaux forestiers : les recherches en cours ouvrent des perspectives pour mieux comprendre les liens entre gestion forestière et biodiversité des sols. Les principales limites sont le faible nombre d'études au regard de la complexité du sujet et les difficultés pour analyser simultanément les différents compartiments de la biodiversité. En l'état actuel des connaissances, il n'a pas été possible de formuler des recommandations générales aux gestionnaires dans le cadre de ce travail de synthèse.

Mots-clés: recherche, sols, biodiversité, gestion forestière

Panorama des articles sur la fertilité des sols

La notion de fertilité

Informations clés	Forêt-entreprise
Les dynamiques de la fertilité : - selon l'histoire : entre fertilité native et acquise ; - et selon la disponibilité des éléments : fertilité chimique à court ou à long terme.	n° 252 pp. 20-22 F. Charnet
Les variables pour mesurer ou estimer la fertilité.	
Eléments de diagnostic , pour estimer le niveau des contraintes sur les composantes physique, chimique et biologique de la fertilité.	n° 252 pp. 23-29 F. Charnet

La fertilité en trois dimensions

- La fertilité chimique

Messages clés	Outils	Forêt-entreprise
Fertilité et bois énergie Seuls 30 % des sols forestiers métropolitains sont considérés comme peu sensibles à l'exportation de la biomasse.	Indicateur de sensibilité des sols à une récolte accrue de biomasse (Insense) https://www.ademe.fr/insense-indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestiers-soumis-a-recolte-accrue-biomasse	n° 252 pp. 28-32 A. Departe, N. Pousse
Parmi les recommandations sur la récolte de menus bois et de souches : - Eviter l'exportation de feuillage (très riche en élément minéraux).	Guide Gerboise https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/ documents/gerboise-guide-recommandations-2018.pdf	n° 252 pp. 34-39 G. Landmann
Carbone organique du sol (COS) Les sols stockent la majeure partie du carbone présent dans les écosystèmes forestiers, avec un temps de résidence moyen de plusieurs dizaines d'années.		n° 242 pp. 44-48 D. Derrien n° 245 pp. 67-71 M. Jonard <i>et al</i> .
Les pratiques sylvicoles peuvent modifier, à la hausse ou à la baisse, le stock de COS.	5 cas où la gestion sylvicole pourrait contribuer au stockage du COS	n° 245 pp. 62-66 L. Augusto <i>et al.</i>

- La fertilité physique

Messages clés	Outils	Forêt-entreprise
Réservoir en eau utilisable des sols (RU) Pour estimer le RU des sols forestiers, il est recommandé d'uti- liser les classes de pédotransfert d'Al Majou.	Tableau de capacité de rétention en eau (en mm d'eau / cm de sol) selon les classes de texture.	n° 242 pp. 28-32 C. Piedallu <i>et al.</i>
Tassement Parmi 23 recommandations pour préserver la praticabilité des cloisonnements : - définir un seuil d'alerte selon une profondeur d'ornière.	Guide Pratic'Sol, 2017 https://www.onf.fr/onf/lonf-agit/+/192::praticsols- guide-sur-praticabilite-des-parcelles-forestieres.html	n° 242 pp. 28-32 D. Pischedda
Erosion Priorité à la prévention, les techniques de remédiation étant très limitées en forêt. L'érosion menace aussi la fertilité chimique.		n° 242 pp. 40-43 F. Darboux <i>et al.</i>

- La fertilité biologique

Informations clés	Contenus	Forêt-entreprise
La biodiversité intervient sur des processus essentiels au fonc-	De riches illustrations :	n° 252 pp. 40-47
tionnement des écosystèmes forestiers : cycles du carbone et des	- Principaux groupes d'organismes des sols forestiers	C. Nivet et al.
nutriments, structuration des sols	selon leur taille, leur nombre d'espèces	
	- Les groupes d'organismes selon les trois principales	
Les exigences écologiques des différents groupes taxonomiques	formes d'humus	
étant différentes, il n'existe pas d'itinéraire sylvicole qui favori-		
serait l'ensemble des groupes.	Synthèse bibliographique : Gestion durable et biodiver-	
	sité des sols forestiers	
	http://docs.gip-ecofor.org/public/bgf/BGF_Synthese4_	
	Sols.pdf	

Préservation des sols forestiers:

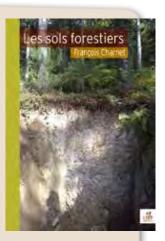
les outils du CNF



Le CNPF sensibilise les forestiers sur la connaissance et la préservation des sols, à travers ses publications et ses formations.

Les sols forestiers, de François Charnet, 2018.

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.



https://www.foretpriveefrancaise.com/ publications/voir/671/les-sols-forestiers/n:541 Sols forestiers, intégrer les dynamiques,

dossier Forêt entreprise n° 242, oct. 2018.

Alors que notre perception des sols demeure très statique, ce dossier révèle les dynamiques sur les plans de l'eau, de l'érosion de la praticabilité des cloisonnements et des teneurs en carbone.

https://www. foretpriveefrancaise.com/ publications/voir/689/foretentreprise-n-242/n:541



Le sol forestier : élément clé pour le choix des essences et la gestion durable, 2017.

Cette brochure présente les éléments du sol et les points de vigilance pour le choix des essences et la gestion durable des forêts.

https://www.cnpf.fr/ actualite/voir/959/ le-sol-forestier-elementcle-pour-le-choix-desessences-et-la-gestiondurable/n:170



Préserver les sols forestiers lors des récoltes de bois. 2014.

Cette brochure du CRPF Hauts -de-France traite des enjeux de préservation des sols au regard de la mécanisation, avec les précautions à prendre en amont, durant et après un chantier d'exploitation.

https://hautsdefrance.cnpf. fr/n/voirie-desserte-forestiereet-preservation-des-sols/ n:1412#p6039



Le CNPF s'investit également dans différents guides de stations forestières, où les sols occupent souvent une place centrale.

https://www. foretpriveefrancaise. com/n/les-stationsforestieres/n:1030



Formations sols 2020			
Diagnostic des sols et applications forestières	T. Brusten, IDF; JM. Boissier, pédologue	Florac (48)	15 - 18 septembre – 3 jrs
Dégradation physique des sols forestiers : évaluation du risque et mesures d'aménagement	J. Fiquepron, IDF ; P. Ruch, FCBA	Charrey- sur-Saône (21)	4 - 5 novembre – 2 jrs

SYLVICULTURE

La forêt en Galice : Retour d'expérience

par Catherine Fournil1

Dans le cadre du projet européen « Forest-IN », trois formations, d'une semaine chacune, ont été organisées au Portugal et en Espagne en 2018 et 2019. Elles étaient destinées aux propriétaires forestiers. L'intitulé de ces séminaires révélait bien leur objectif : « De la théorie à la pratique : pratiquer une gestion forestière soutenable ». Voici un aperçu de la dernière formation.



¹ Déléguée Générale de la Fondation d'Entreprise du Golf de Vidauban Pour l'Environnement ; Secrétaire du Bureau de l'Association Syndicale Libre de la Suberaie Varoise ; membre de l'association Forêt Modèle de Provence. a dernière formation a été organisée en mars 2019 par l'Association Forestière de Galice à Saint-Jacques-de-Compostelle. L'association « Forêt Modèle de Provence », partenaire du projet Forest-IN, m'a permis d'y participer, en tant que représentante de la Fondation d'Entreprise du Golf de Vidauban Pour l'Environnement, et de l'ASL Suberaie Varoise.

L'Association forestière de Galice (AFG) est une association privée à but non lucratif, créée à Saint-Jacques-de-Compostelle

en 1986. Elle regroupe de nombreux propriétaires forestiers privés et des comunidades de montes vecinales en mano común, un type de propriété, inspiré du droit germanique et qui s'applique dans les Asturies, en Castille et Leon, mais surtout en Galice. Sont considérés comme monts voisins en main commune, les terrains qui, indépendamment de leur origine, de leurs capacités productives, de leur utilisation actuelle et de leur vocation agraire, appartiennent à des regroupements de voisins en leur qualité de groupe social, et non comme entité administrative. Les membres du groupe





L'association Forêt Modèle de Provence est partenaire du projet Forest-IN.

en tirent profit dans le cadre d'un régime communautaire, sans affectation de part, en leur seule qualité de voisins.

Nelson Matos © Université d'Aveiro

Les principaux objectifs de l'association sont de défendre les intérêts professionnels de ses membres, de les représenter devant le gouvernement, l'industrie forestière et les organisations liées au secteur forestier, mais aussi de mener toute activité qui améliore la sylviculture et la gestion durable, pour contribuer à accroître la rentabilité et la qualité des ressources forestières galiciennes. Toute personne physique peut faire partie de l'Association forestière ainsi que toute société ou institution possédant de la forêt en Galice.

La Galice située au nord-ouest de l'Espagne. est une communauté autonome depuis le 28 avril 1981. Elle occupe une superficie de 29 575 km² où se concentrent 2,7 millions d'habitants.

Cette région d'Europe est unique pour la gentillesse de ses habitants, sa gastronomie, ses paysages. Au pays du Pin, les collines sont le plus fréquemment couvertes d'eucalyptus, de pins insignis ou pins de Monterrey, de chênes et de châtaigniers, la forêt étant la principale caractéristique des lieux.

Grâce aux intervenants et aux ateliers organisés pendant 5 jours, nous avons découvert ou redécouvert le paysage forestier galicien et ses particularités territoriales. Deux exemples permettent de bien illustrer l'utilisation multiple de la forêt galicienne.

La coopérative de Monte-Cabalar. Cette structure regroupe sur un territoire de plus de 700 ha, 3 600 propriétés détenues par 1 000 propriétaires différents ! Ils ont pour objectifs communs d'agir contre le feu, de lutter contre l'abandon des petites parcelles pour valoriser la capacité de production des collines boisées de la zone grâce à l'élevage intensif de bétail, le tout en rotation entre élevage porcin, bovin et caprin. Une belle réussite locale, véritable prouesse sociale, économique et soutenable.

L'implantation d'un modèle multifonctionnel d'aménagement sur le Pico Sacro. À partir d'une cartographie de la parcelle du Pico Sacro et de la liste des contraintes environnementales, écologiques et juridiques, il nous a été demandé de proposer un plan de développement multifonctionnel de la parcelle. Différents groupes ont été formés par nationalité, espagnole, portugaise et française. Après quelques heures de travail et d'échanges entre les participants et les animateurs, trois plans de développement ont été exposés.

D'un point de vue sociologique, il est remarquable de voir à quel point les stratégies diffèrent selon les nationalités et traduisent les préoccupations particulières propres à chaque pays européen. En effet, le groupe des portugais a proposé une densification de l'exploitation forestière, et a orienté sa proposition sur la rentabilité rapide de l'ensemble de la parcelle à aménager, complétée avec un budget et une étude financière. Les galiciens ont proposé l'exploitation d'une grande partie de la parcelle en préservant des zones de conservation propices à la biodiversité. Enfin le



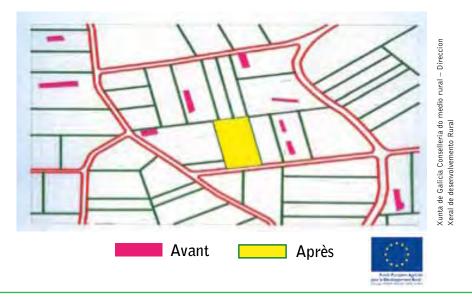








Figure 1 - Ces actes législatifs visent à réduire la fragmentation élevée des propriétés



groupe des français a favorisé les activités de sylvo-pastoralisme, la permaculture, l'apiculture, l'installation d'une « maison de pays » et des balades à dos d'ânes pour l'animation du site. Trois versions de qualité mais avec trois orientations très différentes.

Enfin, une autre particularité galicienne m'a beaucoup intéressée : la taille des exploitations agricoles. Nous sommes en effet ici au pays de la fragmentation du territoire ! La Galice représente 6 % du territoire espagnol mais regroupe pourtant 28 % des détenteurs de parcelles, aux tailles très différentes avec une moyenne de 2 500 m². L'Espagne a lancé depuis les années 50 une vaste restructuration parcellaire, dans le même esprit que le remembrement mené en France, pour :

- réduire les coûts administratifs de gestion de ces nombreux lopins de terre, (transfert de propriété, identification des propriétaires successifs, héritages...),
- les désenclaver,
- renforcer le bon usage de la terre en ordonnançant les plans de culture,
- augmenter la productivité agricole, forestière, économique et sociale de ces parcelles,
- favoriser la préservation de l'environnement,
- regrouper celles qui sont à l'abandon pour leur redonner une vocation agricole et protéger les usages du sol.

Pour la Galice, la loi de concentration parcellaire date de 1985 et s'est poursuivie en 2015 avec la loi « d'amélioration de la structure agraire territoriale de la Galice ».

Ces actes législatifs visent à réduire la frag-

mentation élevée des propriétés, diminuer la superficie des terres à l'abandon, assurer le développement d'activités agricoles, forestières et d'élevage de façon soutenable, réduire les risques environnementaux, en particulier les incendies de forêts, améliorer la protection environnementale et paysagère de la Galice. C'est ainsi que depuis 1954, plus de 480 000 ha ont fait l'objet d'une restructuration parcellaire, sur le seul territoire Galicien.

Notre forêt française étant également victime de son morcellement, une telle loi foncière serait-elle envisageable dans notre pays ?

Merci encore à toute l'équipe de l'Association Forestière de Galice pour son accueil chaleureux et sa parfaite organisation, ainsi qu'à Forêt Modèle de Provence pour m'avoir permis de participer à cette formation inspirante pour la gestion de notre forêt provençale.

Résumé

Catherine Fournil fait part de son retour d'expérience sur le séminaire forestier organisé en Galice en mars 2019 dans le cadre du projet européen Forest-in. Parmi les différents sujets abordés, elle nous présente, en plus du contexte de la formation, ceux qu'elle a trouvés particulièrement intéressants : une coopérative sylvopastorale pilote, un exercice de modélisation de gestion forestière et une structuration foncière exemplaire pour faire face au morcellement des propriétés privées.

Mots-clés: Espagne, Galice, coopérative, morcellement, loi foncière.

Première pierre de l'usine Garnica à Troyes

par François Clauce, CNPF-IDF

Le bois de peuplier, outre le fait d'être particulièrement léger, présente de nombreuses qualités mécaniques qui en font une ressource de premier choix pour les fabricants de panneaux. Les tensions pour l'approvisionnement en peuplier dans le Sud-Ouest et l'Ouest de la France, amènent les industriels comme la société Garnica à se rapprocher de la ressource du quart Nord-Est de la France dont une partie connaît actuellement un débouché à l'export.



Le groupe *Garnica*, leader mondial du contreplaqué en bois de peuplier

Les débuts du groupe *Garnica* se situent en Espagne dans la province de La Rioja avec la fondation en 1941 d'une scierie. Rapidement, *Garnica* a exploré de nouvelles façons de gérer et d'utiliser judicieusement les ressources naturelles. L'entreprise a développé des solutions de contreplaqué novatrices et haut de gamme. *Garnica* fabrique ainsi des contreplaqués traités pour une utilisation en extérieur, d'autres résistants au feu ou encore des contreplaqués ultra légers.

Garnica est aujourd'hui une référence mondiale dans l'industrie et propose une vaste gamme de produits contreplaqués produite dans 7 usines réparties en Espagne et en France. Le groupe emploie 1 100 salariés. Son siège social se situe en Espagne à La Rioja.

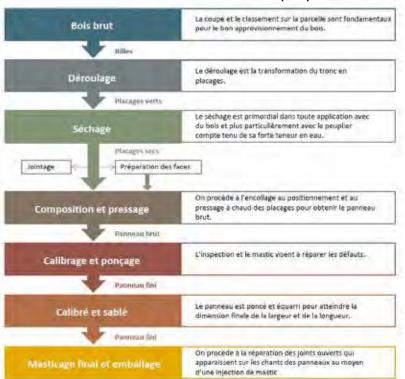
Avec un total des ventes de 230 millions d'euros en 2019 et une capacité de production de 360 000 m³ de panneaux contreplaqués, l'entreprise exporte 93 % de sa production. Le groupe Garnica, présent dans plus de 45 pays, travaille principalement en Europe occidentale et aux États-Unis. Sa consommation annuelle est d'environ 800 000 m³ de bois d'œuvre, avec une utilisation de ses co-produits en circuit court, via l'alimentation de chaudières biomasse in-situ ou via une valorisation dans les filières des industries papetières, du panneau ou du paillage.

Garnica Troyes, l'usine évolutive

En choisissant d'installer sa septième usine à Troyes, le groupe Garnica se rapproche de la matière première dont il a besoin : le peuplier. En effet, le bassin d'approvisionnement régional est le plus grand d'Europe avec environ 50 000 ha de peupleraies de production.

L'usine Garnica de Troyes au cœur du plus grand massif populicole d'Europe.

Process de fabrication du contreplaqué





Plantation d'un peuplier pour figurer la pose de la première pierre de l'usine Garnica à Troyes. Sur la photo : Jean Rottner, Président de la Région Grand Est, François Baroin, Président de Troyes Champagne Métropole, Pedro Garnica, Président du Groupe Garnica, Sylvie Cendre, Secrétaire générale de la Préfecture de l'Aube.



https://www.youtube.com/ watch?v=XZloae1ViuM

La première pierre de l'usine a été posée le 28 janvier dernier en présence Jean Rottner, Président de la Région Grand Est, François Baroin, Président de Troyes Champagne Métropole, Pedro Garnica, Président du Groupe Garnica et Sylvie Cendre, Secrétaire générale de la Préfecture de l'Aube.

L'investissement est conséquent : 80 millions d'euros principalement financés sur fonds propres avec un soutien de l'Ademe pour 4,8 millions d'euros, de la région Grand Est pour 1 million d'euros et de l'État pour 0,72 million d'euros. La ville de Sainte-Savine et Troyes Champagne Métropole sont également partenaires du projet.

L'usine occupera à terme 40 000 m² sur les 20 ha du site dédié à l'usine au sein du Parc du Grand Troyes.

Le développement de l'activité de l'usine sera progressif. Au démarrage en 2021, 40 personnes travailleront pour la première unité de déroulage. Puis en 2022, les premières unités de séchage et une première chaudière viendront compléter la production en employant une centaine de personnes. À terme, le site comprendra 2 unités de déroulage, 4 unités de séchage, 2 chaudières ainsi qu'une presse et unités de finition du contreplaqué. L'effectif complet de l'usine sera à terme de 300 salariés auxquels s'ajouteront 600 emplois indirects.

Garnica est fortement engagé dans l'accompagnement de la relance de la populiculture du Grand Est et la structuration de la filière peuplier au côté des autres acteurs régionaux. Ainsi, la région Grand Est a décidé d'un

plan peuplier dans le cadre du Programme Régional Forêt Bois et du contrat de filière. Un programme pluriannuel d'ampleur initié par le CRPF Grand Est et porté par l'interprofession Fibois Grand Est a été mis en œuvre dès fin 2018. La charte « Merci le peuplier » permettant une prise en charge d'environ 50% des coûts de replantation auprès du propriétaire et le dispositif d'aides à l'élagage contribuent à l'atteinte de ces objectifs.

Cette dynamique doit maintenant s'étendre aux régions voisines comme les Hauts-de-France et la Bourgogne-Franche-Comté dont le peuplier constitue un atout majeur pour la filière forestière.

Le contreplaqué de peuplier, un produit d'avenir

La croissance annuelle du marché du contreplaqué en peuplier est supérieure à 10 %. Le panneau de contreplaqué est composé de placages de bois encollés de telle façon que les fibres de 2 feuilles consécutives forment entre elles un angle de 90°. Le fait que le panneau contreplaqué soit formé d'un nombre impair de plis avec des directions de fibres croisées lui confère des propriétés nettement supérieures à celles des placages dont il est constitué.

Le contreplaqué présente de grandes qualités de résistance, de performance, de durabilité et d'esthétiques. Ses usages sont nombreux et en développement pour la décoration, le mobilier, la construction, les caravanes et le nautisme.

Mots-clés: contreplaqué, peuplier, Garnica, Troyes, Grand Est.

Crise scolytes sur épicéas Bilan fin 2019



Grand Est. 2019

par François-Xavier Saintonge, Expert au Département de la Santé des Forêts (DSF / DGAL)

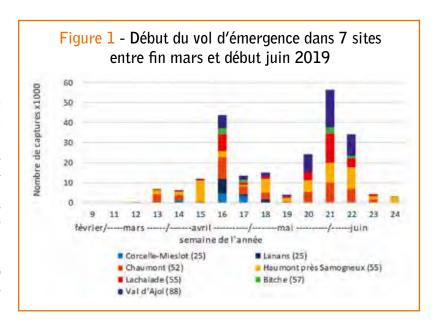
Le climat de 2018 et 2019 a été à l'origine d'une vague importante de mortalité d'épicéas associée au scolyte typographe dont les populations ont atteint un niveau épidémique sur les secteurs de plaine et les contreforts montagneux du nord de la France (régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté). Jusqu'à maintenant, les dégâts sont limités dans l'aire d'origine de l'épicéa, ainsi qu'au delà de 800-900 m d'altitude (voir Lettre du DSF n° 54 spéciale sécheresse). La situation a progressé dans l'ensemble de la région Auvergne Rhône-Alpes. Cependant, le seuil épidémique n'y est atteint que dans l'Ain.

e typographe est un insecte qui vit généralement à un niveau endémique ; il est présent naturellement dans les pessières françaises. Il passe par des phases épidémiques lorsque les arbres sont affaiblis et moins capables de se défendre. Depuis 2015 les populations étaient orientées à la hausse, tout en restant à des niveaux faibles. Mais la sécheresse et la chaleur de 2018 a conduit à l'entrée dans une phase épidémique à partir de l'été 2018. Elle s'est amplifiée avec les conditions climatiques du printemps et de l'été 2019.

Alors que la majorité des insectes ont hiverné dans la litière et sous les écorces et que les pluies de l'automne ont été abondantes, il convient de faire un point d'étape sur la situation et d'envisager des hypothèses d'évolution pour l'année 2020.

Sortie d'hivernation des scolytes

La date de la sortie de l'hivernation des scolytes détermine le début de colonisation des arbres. C'est donc à partir de cette date que la lutte active doit s'enclencher. Cette date peut être déterminée à partir de l'observation des premiers adultes dans les pièges. Ainsi, en 2019, les tout premiers individus ont été observés dans l'Est de la France le 16 mars à Verdun. Au-delà de la date de première émergence, les pics d'envols sont variables d'un site à l'autre et les captures sont régulières à partir de l'émergence tant que les conditions de température, de vent et de pluie sont favorables au typographe.



La mortalité d'épicéas

La mortalité causée par les scolytes est la résultante de :

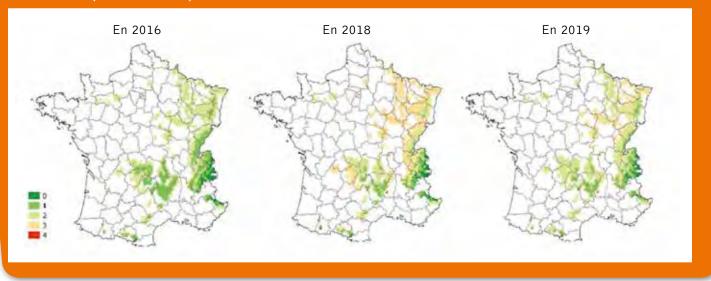
- iétat de stress de l'arbre: lors d'épisodes de sécheresse et de chaleur, cet état s'accentue d'autant plus fort que la sécheresse est intense et qu'elle dure; l'altitude est un élément important sur cet état et les dégâts diminuent actuellement au-dessus de 800 à 900 m,
- elles ont beaucoup augmenté au fur et à mesure des mortalités d'épicéas qui génèrent un grand nombre d'insectes dans le milieu (il émerge environ 30 000 insectes d'1 m³ d'épicéa scolyté); des facteurs de régulation de ces populations de scolytes (prédateurs parasites) existent et augmentent avec le temps lorsque les populations de scolytes sont fortes.



Chute d'écorce sur épicéas attaqués, 2019.

Nombre potentiel de générations de scolytes au 1er novembre

La physiologie des insectes est directement liée à la température. Pour certaines espèces comme le typographe, le nombre de générations n'est pas fixe : en général, il existe 2 générations dans l'année en plaine, une en montagne. Aussi, lorsque les températures sont durablement élevées, il est possible de voir le nombre potentiel de générations augmenter : un modèle a été mis au point pour le quantifier. Ce fut le cas par exemple en 2018, sur une grande partie du territoire comme le montre la carte ci-dessous. En 2019, malgré des épisodes de canicule, le phénomène a été plus rare.



Il est possible de schématiser ce processus au cours de ces derniers mois de la façon suivante.

Figure 2 - Processus d'attaque des scolytes



Lisière d'une pessière attaquée par le typographe.

De ce fait, de très nombreuses parcelles sont affectées par des processus de mortalité qui commencent par taches puis qui peuvent se multiplier dans les peuplements.



Figure 3 - Évolution du nombre de signalements de typographes par les correspondants-observateurs du DSF

Nombres de signalements de typographe
Nombres de signalements de typographe

300 200

Cette situation se traduit par des mortalités d'intensité variable mais, dans bon nombre de cas, c'est la majorité du peuplement qui est affectée par les mortalités. L'évolution spatiale et temporelle des observations des correspondants-observateurs du DSF traduit bien l'ampleur de la crise (voir figure 3).

2012-2013

plus de 50 % de tiges attaquées.

moins de 20 % entre 20 % et 50 %

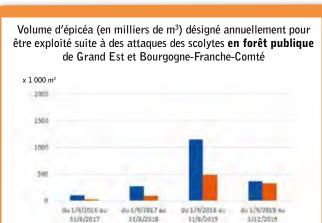
La récolte des bois atteint des niveaux très importants, essentiellement en plaine dans les régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté.

Lors de ces opérations de martelages, les agents de l'ONF discriminent les bois scolytés des autres bois et compile ces données à l'échelle régionale et nationale.

Estimation des dégâts

Il est utile de faire une estimation du volume de bois affecté directement ou indirectement

56



Bourgogne-Franche-Comté

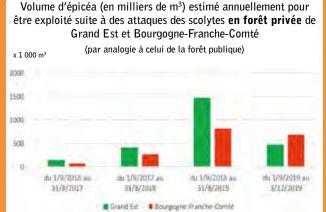


Figure 4 - Évaluation de l'évolution des volumes d'épicéa exploités

Pour ces deux régions en fin d'année 2019, l'épisode scolyte en cours est à l'origine d'environ 7 millions de m³ d'épicéas qui devraient être exploités (soit l'équivalent d'environ 20 000 ha). Ces chiffres résultent d'une extrapolation de la situation de la forêt publique (où les volumes désignés par l'ONF sont bien connus) vers la forêt privée avec les hypothèses rappelées plus bas. Ils doivent donc être considérés comme un ordre de grandeur qui nous semble cependant correct à dire d'expert. Ils sont sensiblement supérieurs à ceux recueillis par les interprofessions (sur la base des bois commercialisés) car une partie des épicéas touchés en forêt privée n'a pas encore pu être exploitée.

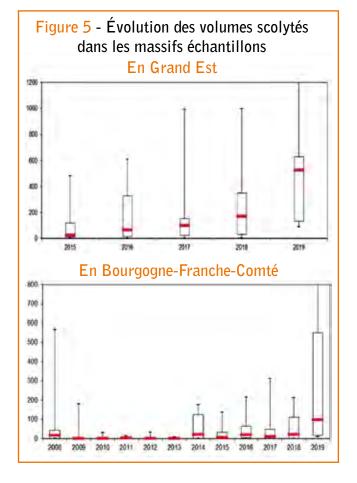
par ce phénomène (arbres réellement morts et arbres verts exploités pour rationaliser la gestion des parcelles) pour caractériser au mieux l'évènement. L'estimation aboutit aux données suivantes :

Grand Est

- les dégâts sont concentrés sous 800 m d'altitude.
- d'après l'IGN (2010 à 2017), et dans cette tranche altitudinale (0 à 800 m), les volumes sur pied à l'hectare en forêt privée étaient supérieurs de 16 % à ceux de la forêt publique (période 2010 à 2017),
- ➡ les surfaces en épicéa en Grand Est sont respectivement de 52 000 ha en forêt publique et 66 000 ha en forêt privée; 17 000 ha en forêt publique et 41 000 ha en forêt privée pour la Bourgogne-Franche-Comté (chiffres IGN – 2010 – 2017)- l'hypothèse retenue est que les dégâts affectent de la même manière la forêt publique et la forêt privée (voir figure 4).

Depuis 2008 (2015 en Grand Est), des massifs échantillons sont observés annuellement à 2 reprises : en fin d'été (15 août au 15 septembre) pour d'évaluer les attaques de printemps et en fin d'hiver (1er mars au 15 avril de l'année suivante) pour évaluer les attaques d'été et d'automne.

Ainsi, pour chacune des régions concernées, les volumes d'épicéas scolytés sont évalués sur environ 20 massifs par région. Les données sont résumées dans les figures ci-dessus.



Avec ces représentations, la forte évolution des dégâts en 2019 (résultant des attaques de 2018) est bien traduite dans ces « massifs échantillons ».

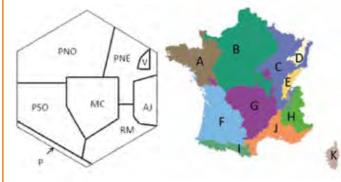
Et 2020 ? et après ?

L'évolution des dégâts de typographe en France de 1989 à 2019, schématisée par les hexagones ci-dessous, montre trois périodes de dégâts importantes : 1989 à 1992 (arbres affaiblis suite à la sécheresse), 2000 à 2007 (suite à la tempête de 1999 et à la canicule 2003 qui ont déstabilisé et affaibli les peuplements) et 2015 à aujourd'hui.

Figure 6 - Évolution annuelle des dégâts de typographe en France

Représentation schématique de la France :

découpage en 8 régions correspondant à des regroupements des grandes régions écologiques (GRECO) retenues par l'inventaire forestier national (IGN/IFN)



Importance des dégâts de scolyte

Absent ou très peu présent dans la région écologique

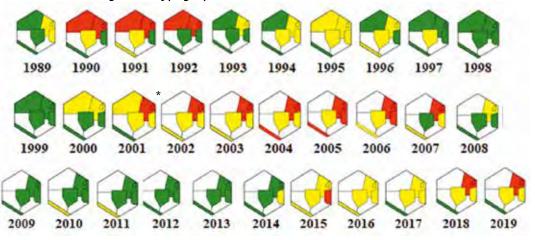
Dégâts nuls ou légers, niveau de population endémique

Problème bien présent, dégâts modérés

Dégâts importants et niveau de population épidémique

Découpage DSF (8 régions écologiques)		GRECO de l'IGN	
PNE	Plaines du Nord-Est	GRECO C Grand Est semi-continental	
PNO	Plaines du Nord-Ouest	GRECO A: Grand Ouest cristallin et océanique GRECO B: Centre Nord semi-océanique	
PSO	Plaines du Sud-Ouest	GRECO F: Sud-ouest océanique	
MC	Massif central	GRECO G Massif central	
AJ.	Alpes Jura	GRECO E: Jura GRECO H: Alpes	
V	Vosges	GRECO D . Vosges	
Р	Pyrénées	GRECO I : Pyrénées	
RM	Région méditerranéenne	GRECO J: Méditerranée GRECO K: Corse	

Évolution des dégâts de typographe :



* Présence de l'épicéa devenue très faible



Forêt de Rye (39), septembre 2018. L'historique page 58 confirme bien que les tempêtes et les stress hydriques déclenchent ces dégâts de typographe.

Il confirme aussi, comme après les tempêtes de 1999 et la canicule de 2003, qu'il faut plusieurs années sans accident météorologique majeur pour retrouver une situation d'endémie pour l'insecte et de retour à des dégâts mineurs. La prévision pour l'avenir est une question légitime tant pour la gestion forestière que pour l'organisation de la récolte et pour la première transformation.

Cette prévision ne peut se faire « qu'à dire d'expert », à partir des crises scolytes précédentes. Cependant, cette crise est particulière puisqu'elle est la résultante de 2 années climatiques inédites : 2018, année la plus chaude depuis 1900 à l'échelle nationale, avec une sécheresse record dans le Nord, 2019 marquée par un épisode de sécheresse conséquent et deux canicules courtes mais très intenses.

L'automne a été très arrosé dans les régions les plus concernées. Cela a permis aux arbres attaqués de ne pas rougir rapidement même s'ils sont morts. Pour les arbres indemnes d'attaques, ils ont probablement récupéré un fonctionnement hydraulique plus normal. Cependant, la population d'insectes dans l'environnement est encore très importante (on ne sait pas l'estimer). Elle hiverne dans la litière du sol, et en lien avec le climat de ces derniers hivers, sous l'écorce des épicéas morts récemment. Parallèlement, le cortège de prédateurs et de parasites a probablement progressé depuis le début de la crise.

Aussi, pour le printemps prochain, et par analogie au déroulement des crises précédentes, on doit s'attendre à de nouvelles mortalités liées aux attaques de l'été 2019 mais également à de nouvelles attaques compte tenu du grand nombre d'insectes qui devraient sortir d'hivernation. Ces mortalités pourraient être du même ordre de grandeur que celles du printemps 2019.

Pour l'été et l'automne prochains, et même si le climat était plus frais et plus arrosé que ceux de 2018 et 2019, les mortalités se poursuivront mais leur intensité dépendra des conditions météorologiques à venir qui vont influer sur la vigueur des arbres.

On peut représenter ces prévisions à partir du même schéma traçant l'évolution passée (*voir figure 7*).



Grand Est, 2018.

Figure 7 - Schématisation de l'évolution possible des dégâts de scolytes en 2020



Cet épisode climatique va donc affecter fortement les pessières de plaine et des contreforts montagneux. En dessous de 800 m d'altitude et d'après l'IGN, le volume d'épicéa dans les régions Grand Est et Bourgogne-Franche Comté était de 58 Mm³. À ce jour, et dans cette tranche altitudinale, ce sont environ 7 Mm³ qui sont touchés.

Le risque de mortalités importantes dans les pessières d'altitude se pose aujourd'hui. En effet, même si elles ont moins souffert du climat de 2018 et 2019 que celles de plaine, elles ont malgré tout subi des températures inédites (près de 2° C de plus que la moyenne trentenaire) et il n'est pas exclu que le niveau de population de scolytes provoque des déplacements en altitude. Il convient donc d'intensifier la surveillance de ces peuplements et la lutte en évacuant autant que faire se peut les arbres porteurs d'insectes et le plus rapidement possible.

Résumé

Les régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté connaissent une crise sanitaire de grande ampleur sur les pessières du fait du développement des populations du scolyte typographe. Le Département de la santé des forêts (DSF) estime à 7 millions de mètre cube le volume de bois à exploiter suite à l'augmentation des populations de cet insecte, mesurée par piégeage et signalement de mortalités sur le terrain. Les attaques de ce printemps devraient être à peu près au même niveau que l'année dernière du fait de la sécheresse et des deux épisodes caniculaires de 2019. L'intensité des attaques de l'été 2020 dépendra beaucoup du climat que nous réserve cette année.

Mots-clés: crise sanitaire, scolyte, typographe, épicéas, sécheresse

SYLVICULTURE

Quels intérêts et limites du mélange d'essences face aux changements globaux ?

par Nathalie Korboulewsky, Philippe Balandier, Yann Dumas, Marion Gosselin,
Anders Mårell. Thomas Perot. Irstea¹



¹ Irstea UR EFNO, FR-45290 Nogent-sur-Vernisson Favoriser le mélange d'essence ou réduire la densité rendront-ils plus résilientes nos forêts face au changement climatique? Un comparatif de peuplements chêne pur, pin sylvestre pur et mélangé est étudié en forêt d'Orléans: genèse du projet et un résultat.

es gestionnaires forestiers doivent relever plusieurs défis : adapter les forêts au changement climatique, répondre à la demande croissante de bois, préserver la biodiversité et la qualité des sols, et assurer le renouvellement des peuplements sous contraintes multiples (conditions stationnelles, compétition végétale, maladies, pathogènes, grands herbivores...). Deux solutions sylvicoles sont envisagées : (1) la réduction de la densité des peuplements (moins d'arbres à l'hectare) pour limiter la consommation en eau dans un climat où l'augmentation des températures va engendrer des sécheresses plus fréquentes et plus intenses, (2) le mélange d'essences (plutôt qu'un peuplement mono spécifique) pour favoriser la résistance et la résilience des peuplements. Toutefois, ces deux scénarios ne donnent pas de résultats univoques dans la littérature. Et leur efficacité peut dépendre d'autres contraintes que le changement climatique auxquelles la forêt est confrontée. La compréhension des mécanismes en jeu est donc indispensable avant de mettre en application les résultats, et anticiper les réactions de l'écosystème aux aléas à venir.

Le réseau OPTMix (https://optmix.irstea.fr) est installé par l'Irstea en 2015 sur 40 ha de la forêt domaniale d'Orléans, avec le soutien de la région Centre-Val de Loire, de l'ONF, et du Département du Loiret. Il teste ces deux scénarios sylvicoles (densité et mélange) combinés à la présence ou à l'exclusion des ongulés sauvages sur le fonctionnement de l'écosystème, notamment la productivité des arbres, l'utilisation et l'allocation des ressources (eau, nutriments, lumière), la dynamique de la biodiversité et de la végétation du sous-bois, y compris la régénération. L'objectif est de mieux

comprendre aujourd'hui pour mieux préparer la gestion de demain.

Présentation succincte du dispositif

OPTMix est un réseau expérimental composé de 33 parcelles (de 0,5 ha avec une zone tampon périphérique) sélectionnées dans des peuplements forestiers équiennes de 60 à 80 ans en région tempérée de plaine (forêt domaniale d'Orléans, Loiret). L'expérimentation comporte 3 répétitions pour chaque combinaison de facteurs (densité, composition, herbivorie), soit 27 placettes auxquelles s'ajoutent 3 placettes en mélange avec aucune intervention sylvicole (densité maximale) et 3 placettes avec enclos sélectif ne laissant entrer que les sangliers. Au total, le dispositif comporte donc 33 placettes expérimentales réparties sur 12 parcelles forestières.

La plupart des placettes est équipée d'appareils de mesure du microclimat et des ressources, en particulier du bilan hydrique (capteurs de température, d'humidité relative, de rayonnement; pluviomètres, sondes d'humidité du sol à 3 profondeurs ; piézomètres², voir Photo 1). Des dendromètres ont été installés à 1,3 m sur le tronc d'un échantillon d'arbres afin de suivre leur croissance en continu. Ainsi, 2 millions de données sont enregistrées par an. En parallèle, des suivis de populations d'herbivores (ongulés sauvages et micromammifères), de diversité (flore vasculaire, bryophytes, lichen, mésofaune), de dynamique de la végétation et de la régénération forestière ainsi que de l'utilisation des ressources par les arbres avec des mesures écophysiologiques (eau, nutriments) sont réalisés régulièrement.

² Piézomètre : tube perforé destiné à mesurer les profondeurs d'apparition de la nappe d'eau ou à en suivre les fluctuations.





En savoir

Visiter notre site: https://optmix.irstea.fr/

Relevé d'une centrale d'acquisition des données des capteurs du microclimat dans les parcelles forestières du dispositif OPTMix.

L'eau : une ressource clé dans le futur climat

Le bilan en eau des écosystèmes végétaux a deux composantes principales : un apport via les pluies et une perte via l'évapotranspiration. Dans de nombreuses régions, les pluies estivales sont amenées à se raréfier, tandis que l'augmentation généralisée des températures accroît l'évaporation des sols et la transpiration des végétaux. La résultante de ces deux processus est donc un bilan en eau plus négatif conduisant à de fréquentes sécheresses. Les équipements de météorologie associés à des mesures écophysiologiques nous permettent d'étudier l'effet de l'identité de l'essence (chêne-pin), du mélange et de la densité des arbres sur ce bilan.

Les résultats sont encore très partiels dans OPTMix. L'effet identité de l'espèce est assez clair : le pin consomme moins d'eau que le chêne. L'effet de la densité du peuplement arboré semble également jouer dans le sens d'une moindre consommation d'eau dans les peuplements les moins denses. Enfin dans les parcelles en mélange, l'absorption de l'eau pourrait avoir lieu plus en profondeur, augmentant de fait le réservoir en eau. Mais cela ne signifie pas pour autant que le bilan en eau est meilleur, comme cela a été montré dans diverses études : un meilleur accès à l'eau entraine une plus forte transpiration des arbres et le réservoir se vide donc plus vite. Pour une meilleure compréhension des phénomènes en jeu, il est alors important de suivre à la fois l'évolution des pertes en eau -transpiration- et du réservoir d'eau, ce que nous avons commencé à faire dans OPTMix mais les données ne sont pas encore totalement analysées.

La croissance : réduire la vulnérabilité face aux stress hydriques

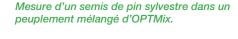
L'eau est un facteur limitant important de la croissance et, par conséquent, tenter d'adapter la sylviculture dans le contexte des changements climatiques est un enjeu majeur pour les gestionnaires forestiers. Sur la forêt d'Orléans, nous avons montré que le déficit hydrique du sol était le facteur principal qui expliquait la variabilité inter annuelle de la croissance du chêne sessile et du pin sylvestre, avec une croissance radiale réduite de 40 % lors d'une année de sécheresse.

Comment les deux stratégies sylvicoles envisagées (densité, mélange) jouent sur la vulnérabilité des arbres face aux stress hydriques? Les résultats concernant l'effet du mélange d'espèces en conditions limitantes sont encore très partiels et contradictoires car ils dépendent de l'identité des espèces en mélange et du contexte pédoclimatique. Sur le dispositif OPTMix, nous suivons la croissance intra-annuelle sur plus de 200 arbres depuis 2014 à l'aide de dendromètres. Les premiers résultats montrent un effet du mélange sur la croissance uniquement dans les densités moyennes, et lors d'une sécheresse estivale tardive et avec un effet opposé pour les deux espèces : les chênes en mélange avec des pins ont une meilleure croissance que les chênes en peuplement pur alors que l'inverse est observé pour les pins.

De plus, pendant un épisode de sécheresse estivale, la réduction de la densité n'est favorable que sur le chêne : les chênes poussant en densité faible avaient



Prélèvement de feuilles et d'aiguilles dans le houppier des arbres pour réaliser un diagnostic foliaire et évaluer l'état nutritionnel des arbres (analyses chimiques et comparaison à des seuils d'optimum et de carence).



une meilleure croissance que ceux en densité moyenne.

Ces premiers résultats confirment que l'effet de la densité et du mélange d'espèces dépendent de l'identité de l'espèce mais également du type de sylviculture et du type de sécheresse. Un suivi à plus long terme, intégrant de nouveaux épisodes de sécheresse, permettra de compléter ces premiers résultats.

Les nutriments : améliorer la nutrition minérale

Les peuplements mélangés sont souvent considérés comme un atout pour la productivité des peuplements mais certaines études sont contradictoires et la plupart des mécanismes en jeu méconnus. Un des facteurs clefs de la productivité des peuplements est la nutrition minérale des arbres qui est modulée notamment par la fertilité du sol et le niveau de compétition intra- et interspécifique. De nombreux sols forestiers sont considérés comme pauvres pour au moins un élément nutritif, généralement le phosphore (P), le magnésium (Mg) et/ou le potassium (K). Nous avons voulu savoir dans quelles mesures les peuplements mélangés chêne-pin modifient le cycle des éléments et quels en sont les bénéfices.

En mélange, on note une production plus importante de feuilles et d'aiguilles suite à une modification de l'architecture des houppiers, et qui sont plus riches en nutriments. Cette litière va fournir des nutriments facilement assimilables par les arbres et bénéficie à l'état nutritionnel des peuplements mélangés, en améliorant la nutrition en phosphore (P) et surtout en magnésium (Mg) pour

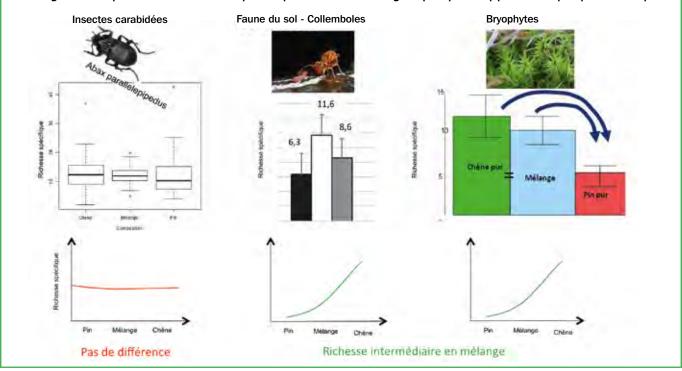
les pins, et en azote (N) pour les chênes. Plus généralement, la présence de feuillus dans un peuplement améliore la fertilité chimique du sol par différents mécanismes

chimique du sol par différents mécanismes physiques, biologiques et chimiques, et particulièrement dans des peuplements à dominante résineuse. Les arbres ayant un état nutritionnel satisfaisant sont plus aptes à faire face aux autres aléas (Photo 2).

La régénération : comment renouveler le mélange ?

Le renouvellement d'un peuplement forestier passe par l'ouverture de la canopée pour faire pénétrer la lumière jusqu'aux jeunes arbres (plants forestiers, semis ou rejets). Le renouvellement et le maintien des peuplements mélangés est un défi majeur pour les gestionnaires à cause des différences de besoins en ressources entre essences, dont la lumière. En effet, le pin sylvestre est plus exigeant en quantité de lumière que le chêne sessile lors de la phase de régénération. S'ajoute d'autres blocages pour réussir le renouvellement : la végétation interférente, les maladies, les ravageurs, les mammifères herbivores, les accidents climatiques. Sur le dispositif OPTMix, nous nous intéressons à mieux comprendre les facteurs de blocage de la régénération forestière sous un couvert arboré et leurs interactions. Les premières observations au stade semis (Photo 3) montrent une régénération (semis) plus abondante de pin dans les peuplements de chêne pur et à l'inverse une régénération plus abondante de chêne dans les peuplements de pin pur, probable-

Figure 1 - Richesse spécifique de différents groupes selon la composition du peuplement ou effet du mélange chêne-pin sur la richesse spécifique de différents groupes par rapport aux peuplements purs



ment issus de l'historique récent des peuplements (coupe des quelques chênes présents lors de l'installation du dispositif). La végétation concurrente, telle que la molinie et la fougère aigle, joue un rôle négatif important en interaction avec d'autres facteurs de blocage comme l'alimentation en eau (excès et manque) et les perturbations induites par les grands mammifères. Les problèmes de régénération sous contraintes multiples sont un défi pour beaucoup de gestionnaires forestiers en France et pour lequel le projet OPTMix contribue à une meilleure compréhension.

Dans ce contexte, un projet de thèse a pour objectif d'étudier la phase de germination et l'installation des jeunes semis. Ce projet s'intéresse plus particulièrement aux effets de compétition et de facilitation entre la régénération, la végétation concurrente, les bryophytes et le sanglier.

La biodiversité : comment favoriser la richesse en espèces?

Les grands principes de gestion forestière durable, initiés par le processus d'Helsinki et suivis par le programme européen Forest Europe, accordent une place importante à la biodiversité. Les essences d'arbres forestiers influencent la biodiversité des peuplements en offrant des supports de vie (écorce, houppier, dendromicrohabitats) ou en créant des conditions de sous-bois (lumière, litière, humus) favorables à certaines espèces plutôt qu'à d'autres.

La richesse des communautés de certains groupes (flore vasculaire, insectes carabidés)

diffère peu entre les trois types de peuplements d'OPTMix, alors que pour d'autres (bryophytes corticoles, collemboles) le mélange et les chênaies pures ont des communautés nettement plus riches et abondantes que les pineraies pures. Même si les mélanges offrent des habitats plus variés, la richesse spécifique (biodiversité mesurée en nombre d'espèces), est plus souvent intermédiaire que maximale en mélange (Figure 1). Toutefois, l'analyse de la composition des communautés, au-delà du simple nombre d'espèces, nous amène à nuancer ces résultats et montre l'intérêt des peuplements purs pour la présence de certaines espèces. À l'échelle du paysage, il faut donc de tout : des pineraies pures (pauvres, mais avec quelques espèces qui v seront plus fréquentes), des chênaies pures (riches, avec des espèces qui leur sont préférentiellement associées) et des mélanges (riches, avec en plus des espèces associées préférentiellement au pin en mélange). Enfin, nous commençons aussi à étudier le rôle fonctionnel de certains éléments de la biodiversité en interactions avec les ongulés sur la germination des graines de pins et des glands.

Les ongulés : sont-ils une menace pour la forêt?

L'augmentation des populations d'ongulés sauvages (chevreuil, cerf élaphe, sanglier...), qui ont plus que triplées ces dernières décennies, pose un réel problème pour l'avenir de la forêt des points de vue économique et écologique. En effet, ces animaux engendrent un surcoût lié aux mesures de protection à mettre en place pour limiter les dégâts (abroutissement,

³ Régénération végétative : mode de reproduction ne faisant pas appel à la sexualité ; rejet de taillis par exemple. frottis, écorçage, arrachage, piétinement) ou déprécient la valeur du peuplement (qualité du bois ou retard de la phase de reconstitution). Du point de vue écologique, la consommation préférentielle de certains végétaux contribue à la modification des communautés végétales et ultimement à la substitution d'essences forestières. Les actions de ces animaux peuvent également avoir des effets bénéfiques en diminuant le couvert d'espèces interférentes (ex. la ronce), en créant des niches de régénération pour des espèces moins compétitrices et en disséminant des graines. La difficulté des points de vue scientifique et technique réside dans la hiérarchisation de ces effets afin de déterminer le bon équilibre entre les effets positifs et négatifs pour la gestion durable des forêts. Les premiers résultats du dispositif OPTMix ne portent pour l'instant que sur la régénération végétative³ des chênes par comparaison enclos-exclos, et montrent que l'abroutissement répété par les cervidés augmente la mortalité des souches et empêche la croissance des rejets en hauteur, ce qui corrobore d'autres études. Les résultats montrent aussi que le recours à la pratique de recépage pour régénérer les chênes sous couvert n'est envisageable qu'en maintenant les populations de cervidés à un très faible niveau ou en mettant en œuvre des moyens de protection. Les ongulés sauvages sont un élément structurant de la dynamique du sous-bois qui, par

effet de cascade, peuvent influencer d'autres compartiments de l'écosystème que la flore forestière. À terme, ces travaux permettront de mieux démêler les effets à la fois positifs et négatifs des ongulés sauvages sur le renouvellement de la forêt et le maintien de la biodiversité forestière.

Conclusion

Le dispositif OPTMix est mis en place par Irstea pour étudier les effets du climat, de la gestion sylvicole (mélange et densité des arbres) et de la présence des grands herbivores (cerfs, chevreuils et sangliers), et leurs interactions sur le fonctionnement des forêts tempérées de plaine. Une meilleure compréhension des mécanismes fonctionnels permet de gagner en généricité et en anticipation de gestion sur les aléas à venir.

Les premiers résultats ont révélé certains intérêts du mélange chêne – pin, mais aussi certaines précautions et limites à prendre en compte. Par ailleurs, certains objectifs de sylviculture sont apparus plus pertinents à être raisonnés à l'échelle du massif, plutôt qu'au niveau de la parcelle forestière.

La poursuite de ces travaux, renforcés par de nouvelles collaborations, va permettre de mieux comprendre le fonctionnement de ces forêts dans la durée, afin de préciser les intérêts, les limites et les solutions techniques pour une gestion durable des forêts.

Résumé

Face au changement climatique global, les mélanges d'essences et la baisse de la densité des arbres dans les peuplements peuvent être une solution pour maintenir les forêts, et favoriser les services qu'elles rendent comme la production de bois, le stockage de carbone et la préservation de la biodiversité. Un dispositif unique, OPTMix permet d'étudier les effets du climat, de la gestion sylvicole (mélange et densité) et de la présence des grands herbivores, et leurs interactions sur le fonctionnement des forêts de plaine. Le réseau, réparti sur 40 ha, comporte 33 placettes de chêne sessile (*Quercus petraea*) et de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) en peuplements mono spécifiques ou en mélange, avec une instrumentation intensive sur le microclimat et de nombreux suivis et observations de la croissance, de la dynamique du sous-bois dont la régénération du peuplement, de la gestion des ressources (eau, lumière, nutriments), et de la biodiversité.

Les premiers résultats montrent que l'intérêt du mélange n'est pas systématique pour les différents services étudiés, et que l'identité des essences détermine à la fois l'intensité et le sens des effets observés. Ces travaux et leur poursuite permettent, d'un point de vue appliqué, d'optimiser la fourniture des services de la forêt tout en poursuivant son adaptation aux contraintes futures.

Mots-clés: peuplement monospécifique, mélange d'essences, chêne sessile, pin sylvestre, gestion sylvicole, densité, ongulés, instrumentation.

Bibliographie

- Bello, J., P. Vallet, T. Perot, P. Balandier, V. Seigner, S. Perret, C. Couteau and N. Korboulewsky (2019). "How do mixing tree species and stand density affect seasonal radial growth during drought events?" Forest Ecology and Management 432: 436-445. doi: 10.1016/j.foreco.2018.09.044
- Mårell, A., Hamard, J.-P., Pérot, T., Perret, S., Korboulewsky, N. 2018. *The effect of deer browsing and understory light availability on stump mortality and sprout growth capacity in sessile oak.* Forest Ecology and Management 430:134-142. doi: 10.1016/j.foreco.2018.08.015
- Gosselin, M., D. Fourcin, Y. Dumas, F. Gosselin, N. Korboulewsky, M. Toïgo and P. Vallet (2017). "Influence of forest tree species composition on bryophytic diversity in mixed and pure pine (Pinus sylvestris L.) and oak (Quercus petraea (Matt.) Liebl.) stands." Forest Ecology and Management 406(Supplement C): 318-329. doi: 10.1016/j.foreco.2017.09.067
- Korboulewsky, N., G. Perez, M. Chauvat (2016). "How tree diversity affects soil fauna diversity: A review." Soil Biology and Biochemistry 94. 94-106. doi: 10.1016/j.soilbio.2015.11.024
- Korboulewsky, N., T. Perot, P. Balandier, P. Ballon, R. Barrier, Y. Boscardin, E. Dauffy-Richard, Y. Dumas, C. Ginisty, M. Gosselin, J.-P. Hamard, L. Laurent, A. Mårell, A. NDiaye, S. Perret, A. Rocquencourt, V. Seigner and P. Vallet (2015). "OPTMix Dispositif expérimental de suivi à long terme du fonctionnement de la forêt mélangée." Rendez-Vous Techniques de l'ONF 47: 60-70.



Une photographie à l'honneur

En savoir⁺

https://www.cnpf.fr/n/photofor/n:614

À chaque numéro, la rédaction vous fait découvrir les richesses de la base photographique PHOTOFOR.

Titre

Bourgeon de hêtre au printemps

> L'auteur : Mireille Mouas



Mireille Mouas a été documentaliste à l'IDF puis au CNPF jusqu'en 2018, et plus particulièrement en charge de la photothèque du CNPF. Elle réside désormais en Bretagne où elle peut s'adonner à sa passion.

Commentaire de la photo :

J'ai beaucoup photographié les arbres quand je travaillais au CNPF. Désormais, en plus des macros de plantes, j'essaie de photographier les oiseaux, exercice différent, passionnant, et très difficile! L'aspect esthétique de la photo m'intéresse avant tout. Ce que je vois dans celle ci, c'est la magie du printemps, avec les différentes nuances de vert. l'arrivée des beaux jours, et la métamorphose de la nature. Le bourgeon va s'ouvrir pour laisser apparaitre les jeunes fleurs et

feuilles.





HISTOIRE DES FORÊTS FRANÇAISES

De la Gaule chevelue à nos jours

de Jean-Marie Ballu, Gustave Huffel, Georges-André Morin,

Préface d'Emmanuel de Waresquiel



Ce livre largement illustré est basé sur le cours d'histoire de Gustave Huffel (professeur à la prestigieuse Ecole des Eaux et Forêts de Nancy) de 1925. Commenté et complété jusqu'à nos jours, il relate 2 000 ans de l'histoire des forêts de France : évolution des essences, surfaces, peuplements, modes de propriété, droit forestier, techniques sylvicoles et usages des forêts et du bois...

240 pages, format 23,5 x 29,7 cm, 37 euros.

Jean-Marie Ballu

Gustave Huffel

Georges-André Morin

HISTOIRE DES FORÊTS FRANÇAISES

De la Gaule chevelue à nos jours



Préface d'Emmanuel de Waresquiel



BON DE COMMANDE à retourner au CNPF-IDF - 47 rue de Chaillot - 75116 Paris Tél : 01 47 20 68 39 - idf-librairie@cnpf.fr

Nom/ Prénom		
Code postal	Commune	
TXI	Courrie	

☐ Je commande l'ouvrage *Histoire des forêts françaises* au prix de 37 € + frais d'envoi*.

*Frais d'envoi : 7,50 € pour 1 ou 2 ex., 9,50 € pour 3 à 9 ex., 17 € pour 10 à 19 ex.

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

Règlement par virement : IBAN : FR76 1007 1750 0000 0010 0066 428 SWIFT (BIC) : TRPUFRP1

Pour commander en ligne : www.foretpriveefrancaise.com