



HAL
open science

Le retour des cendres de bois en forêt : opportunités et limites

Christine Deleuze, Christine Micheneau, Claudine Richter, Vincent Boulanger, Yves-Marie Gardette, Alain Brethes, Gwénaëlle Gibaud, Laurent Augusto, Capucine Dupont, Jean-Yves Gautry, et al.

► To cite this version:

Christine Deleuze, Christine Micheneau, Claudine Richter, Vincent Boulanger, Yves-Marie Gardette, et al.. Le retour des cendres de bois en forêt : opportunités et limites. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2012, 35, pp.16-28. hal-02642083

HAL Id: hal-02642083

<https://hal.inrae.fr/hal-02642083v1>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

t e c h n i q u e s

RenDez-Vous

n° 35 - hiver 2012

patrimoine

sylviculture

progrès

connaissances

économie

forêts et société

environnement

biodiversité

gestion durable



Dossier
p.29

Forêts d'Exception

Retour des cendres de bois en forêt

p.16



RenD ez - V ous techniques

Directeur de la publication

Bernard Gamblin

Rédactrice en chef

Christine Micheneau

Comité éditorial

Léo Castex, Benoît Cuillier, Jean-François Dhôte,
Alain Castan, Didier François, Brigitte Pilard-Landeau,
Véronique Vinot

Maquette, impression et routage

Imprimerie ONF - Fontainebleau

Conception graphique

NAP (Nature Art Planète)

Crédit photographique

Page de couverture

En haut: ONF/Benoît Lacombat

En bas: J.Y. Gautry, FCBA

Page d'ouverture du dossier, de gauche à droite ;
ONF ; ONF/Benoît Lacombat ; Tonnellerie Sylvain

Périodicité

4 numéros ordinaires par an

(possibilité d'éditions resserrées en numéros doubles)

Accès en ligne

[http://www.onf.fr/\(rubrique Lire, voir, écouter/Publications ONF/ Périodiques\)](http://www.onf.fr/(rubrique Lire, voir, écouter/Publications ONF/ Périodiques))

Disponibilité au numéro, abonnement

Renseignements : ONF - cellule de documentation technique, boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau

Contact : d tcb-documentation@onf.fr

ou par fax : 01 64 22 49 73

Dépôt légal : mars 2012

Toutes les contributions proposées à la rédaction sont soumises à l'examen d'un comité de lecture

sommaire

n° 35 - hiver 2012

- 3 **Connaissances**
Les effets du passage d'un feu dans un peuplement arboré : synthèse des connaissances et applications pour le gestionnaire forestier méditerranéen
par François Pimont, Jean-Luc Dupuy, Éric Rigolot, Yvon Duché
- 16 **Connaissances**
Le retour des cendres de bois en forêt : opportunités et limites
par Christine Deleuze, C. Micheneau, C. Richter, V. Boulanger, Y.-M. Gardette, A. Brêthes, G. Gibaud, L. Augusto, C. Dupont, J.-Y. Gautry, J.-Y. Fraysse et C. Rantien
- 29 **dossier thématique**
Forêts d'Exception
- 54 **Pratiques**
Mobiliser du bois en montagne : le défi du câble aérien
par Didier Pischedda, Laurent Descroix, Jacques Fay, Paul Magaud
- 58 **Pratiques**
SIMULCABLE, un logiciel d'optimisation pour l'implantation des lignes de câble aérien
par Jacques Fay, Laurent Descroix, Paul Magaud, Didier Pischedda
- 62 **Méthodes**
Impact des sécheresses estivales sur la croissance radiale du hêtre et du sapin dans le Bugey : quelles conséquences pour la gestion ?
par Anne Pierangelo et Stéphane Dumas
- 68 **Méthodes**
Protocoles d'inventaires mycologiques en réserves forestières
Retour d'expérience du réseau Mycologie de l'ONF dans les Réserves biologiques
par Hubert Voiry et Frédéric Gosselin
- 74 **Fiche technique**
Fiche n° 6 – L'évaluation des incidences Natura 2000 du plan d'action environnemental

éditorial

Notre sommaire reflète, dans la diversité des sujets traités, l'engagement de l'ONF en matière de gestion durable et multifonctionnelle et le travail nécessaire de recherche que cela suppose.

Dans un environnement changeant et toujours plus exigeant, il est plus que jamais nécessaire de connaître, comprendre des mécanismes et interactions complexes, expérimenter, trouver des solutions nouvelles –ou en moderniser des anciennes- dans tous les aspects : de la connaissance de la biodiversité (voir les protocoles d'inventaire mycologiques), aux nouveaux questionnements sur les peuplements forestiers avec le changement climatique (cas de la hêtraie sapinière du Bugey) en passant par les aspects très pratiques de la mobilisation des bois en montagne (outil Simulcable). Et jusque dans les forêts d'exception qui sont à la fois vitrines de cette gestion et laboratoires de gouvernance en réponse aux attentes de développement du territoire local.

Mais je voudrais ici attirer plus particulièrement l'attention du lecteur sur les deux synthèses qui ouvrent cette édition : l'une sur les incendies en forêt méditerranéenne, l'autre sur le retour des cendres de bois en forêt, sans aucun lien de cause à effet entre la première et la seconde !

Dans le cas des incendies, on voit comment la compréhension fine des phénomènes physiques, des adaptations biologiques et la modélisation macroscopique donnent des outils pour l'analyse critique des pratiques sylvicoles et pour concevoir des évolutions ou ajustements pertinents. Réciproquement, les retours d'expérience sont indispensables à l'approfondissement des connaissances et à l'évaluation en continu des pratiques, qui sont au carrefour de la sylviculture, de la lutte active et de l'aménagement du territoire. L'organisation systématique des retours d'expérience entre gestionnaires, services de lutte et chercheurs est d'autant plus fondamentale que les changements climatiques en cours ne nous permettront pas ne nous « reposer sur nos lauriers ».

La réflexion proposée sur le retour des cendres de bois en forêt est tout à fait différente, mais très liée elle aussi au changement climatique en ce sens qu'elle est une conséquence directe des engagements de la France (et de l'Europe) en matière d'énergies renouvelables pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit ici de prospective, de poser clairement toutes les questions qui découlent d'une situation inédite et d'envisager, avec tout le discernement qui s'impose, des réponses en terme de gestion durable.

Le Directeur technique et commercial bois
Bernard GAMBLIN

Les effets du passage d'un feu dans un peuplement arboré : synthèse des connaissances et applications pour le gestionnaire forestier méditerranéen

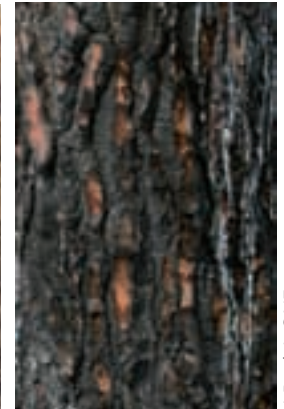
Le passage d'un incendie constitue pour les écosystèmes une perturbation qui varie selon le type de feu (origine naturelle ou anthropique ; feu de surface ou feu total, concernant tant les strates basses que les cimes des arbres), son intensité (l'énergie qu'il produit) ou sa sévérité (les dommages qu'il cause à l'écosystème). À ces caractéristiques s'ajoute la notion de régime de feu, qui intègre à la fois sa composante temporelle (saison, fréquence, cycle¹) et sa composante spatiale (surface brûlée, hétérogénéité).

Le régime de feu peut être modifié par les efforts de prévention et de lutte contre les incendies, par les actions sylvicoles et par d'autres facteurs comme les changements climatiques ou d'occupation du sol.

Parmi les effets immédiats, l'impact du passage d'un feu sur un peuplement se traduit généralement par un roussissement foliaire plus ou moins marqué, une carbonisation du tronc et éventuellement la mort des individus. Les mécanismes en jeu sont de natures physique (transferts thermiques) et biologiques (mortalité cellulaire) et sont maintenant mieux connus. La végétation méditerranéenne est fortement conditionnée par les feux depuis des millénaires, et les espèces ont développé des adaptations pour survivre au passage du feu et/ou pour se régénérer après son passage.



a) dégâts aux houppiers



b) dégâts à l'écorce

Y. Duché, ONF

Fig. 1 : dommages causés aux arbres par un incendie d'intensité modérée dans un peuplement de pin pignon

Les scientifiques ont accumulé d'importantes connaissances sur les mécanismes à l'origine des impacts du feu et de la résistance des espèces, que ce soit en terme de survie ou de régénération. Ces connaissances permettent d'aborder les pratiques sylvicoles ou le brûlage dirigé² avec une meilleure compréhension. Nous exposons donc ici certaines connaissances scientifiques et la manière dont le gestionnaire forestier peut en tirer profit pour programmer ses interventions.

Mécanismes de la mortalité des arbres soumis au feu

Le passage du feu induit généralement la destruction de la strate arbustive et, dans la strate arborée, une mortalité variable selon la gravité des dommages et la résistance de l'espèce. Les dommages (figure 1) à l'origine de la mortalité

concernent le houppier, le cambium et le système racinaire. La température de flamme dans un feu de forêt atteint couramment les 1 000 °C, ce qui dépasse très largement la température létale des cellules de l'arbre, voisine de 70 °C pour une exposition de quelques secondes. Les cellules qui vont survivre sont donc soit très éloignées de la flamme, soit bien protégées. Par exemple, un feu ne concernant que le sous-bois (feu de surface) et ayant une intensité limitée, aura un impact faible sur les cellules des feuilles ou aiguilles (suffisamment éloignées de la flamme) ainsi que sur les cellules cambiales (bien protégées sous l'écorce ou dans les racines).

Dégâts au cambium et aux parties racinaires

Les cellules du cambium sont situées à proximité immédiate des flammes, car un feu se propage toujours en

¹ Nombre d'années nécessaires pour que la surface parcourue par les différents incendies au sein d'un massif de référence soit au moins égale à la surface totale du dit massif

² Voir dossier consacré au brûlage dirigé dans Duché & Rigolot 2004. RDV techniques n°4 : 36-40

surface, même lorsqu'il se propage aussi en cime³. Elles sont protégées par l'écorce, qui constitue un bon isolant. Les transferts thermiques ont lieu par convection et rayonnement sur la surface extérieure de l'écorce et la chaleur se propage dans l'écorce par conduction (voir l'encadré sur les modes de transfert thermique). Dans ces milieux faiblement conducteurs, la conduction thermique se poursuit longtemps après le passage du feu et a donc pour effet d'atténuer considérablement l'amplitude des variations thermiques au sein de l'écorce par rapport à celles de l'air au voisinage de l'écorce. Cette atténuation est d'autant plus forte que l'épaisseur d'écorce est importante et on estime en général que l'arbre peut survivre si le temps de séjour du feu (en minutes) est inférieur à $3x^2$, le « x » représentant l'épaisseur de l'écorce en centimètres.

À titre d'exemple, un pin d'Alep de 25 cm de diamètre (d130, mesuré à 1,30 de haut) a une épaisseur d'écorce voisine de 2 cm et peut donc survivre à un temps de séjour du feu de plus de 10 minutes. Un tel arbre risque moins de mourir de dégâts au cambium (les temps de séjour excèdent rarement quelques minutes) que d'éventuels dégâts dans son houppier. En revanche, dans le cas d'un taillis de chêne vert, des tiges de 10 cm de diamètre ne sont protégées que par 5 mm d'épaisseur d'écorce, et ne peuvent résister à un feu de plus de 45 secondes de temps de séjour, ce qui est courant, même lors d'un brûlage dirigé. À épaisseur égale, les propriétés thermo-physiques des écorces sont relativement similaires, à quelques exceptions près comme le chêne liège, dont l'écorce très poreuse, constitue un excellent isolant (quand elle n'a pas été récoltée !). On pourra retenir que plus un arbre est gros, plus son épaisseur d'écorce est importante, mieux son cambium est protégé.

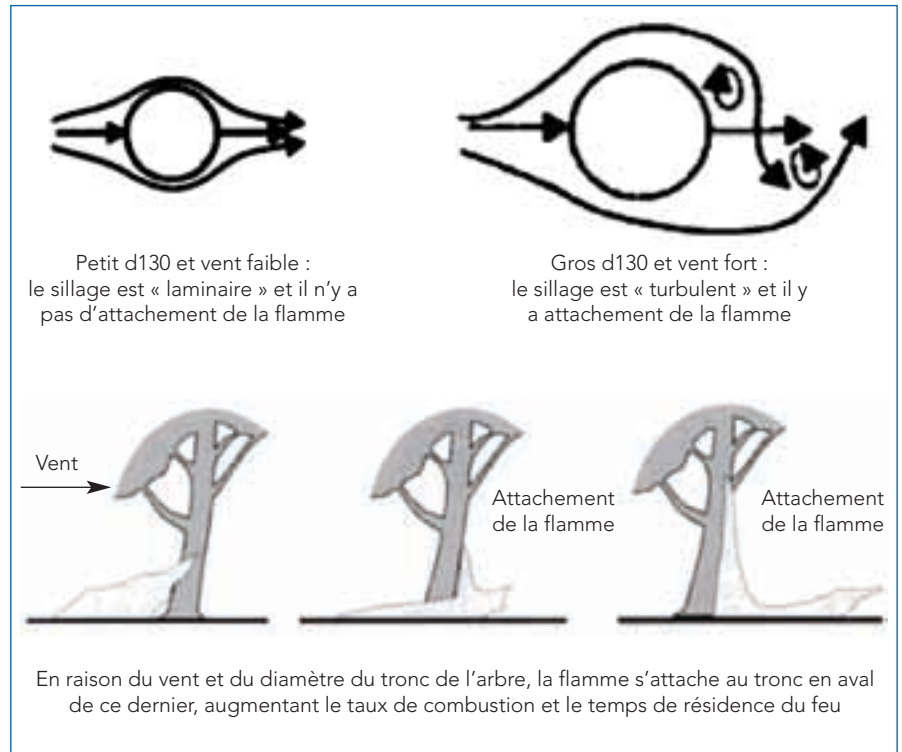


Fig. 2 : phénomène d'attachement de la flamme sur le tronc, à l'origine de dégâts plus marqués en aval de la direction de propagation sur les plus gros arbres (d'après Gutsell et Johnson, 1996)

Ceci étant, une circulation de l'air au sein du peuplement complexifie singulièrement cette analyse sommaire car le tronc perturbe l'écoulement d'air et crée une zone de turbulence sur sa face aval (par rapport au sens du vent et de progression du feu). Cette zone de turbulence induit un attachement de la flamme au tronc, une combustion plus intense et un temps de séjour plus long (figure 2). Il en résulte une asymétrie des cicatrices de feu sur l'écorce des arbres, plus marquées et plus hautes sur la face aval du tronc. Cela constitue un des indicateurs de la direction de propagation utilisés lors des reconstitutions post-incendie, mais qui doit être confirmé par d'autres traces, car la hauteur de carbonisation peut aussi être influencée par d'autres facteurs, notamment par la quantité de combustible accumulée à proximité du tronc. La dimension de cette zone d'attachement

de flamme est proportionnelle à la vitesse du vent, mais aussi au diamètre du tronc. Ceci explique pourquoi les petits arbres ont peu de cicatrices et pourquoi leur asymétrie est rarement marquée (figure 3).

Ce phénomène implique des dégâts plus importants sur l'écorce des gros arbres pour une même situation de feu, ce qui compense en partie la meilleure protection dont ils bénéficient du fait de leur écorce plus épaisse. Même si l'arbre survit, la zone de tissus morts sous l'écorce, généralement en forme de triangle, entraîne un décollement de l'écorce et la mise à nu du bois. Des bourrelets cicatriciels se formeront et recouvriront progressivement la zone blessée, sauf si un nouveau feu touche le peuplement. Dans ce cas, le bois non protégé peut entrer en combustion et former une cavité à la base du tronc fragilisant l'arbre.

³ Quelques témoignages rapportent néanmoins des feux se propageant uniquement en cimes dans des peuplements denses de pin pignon.

Dans certains cas, la combustion de l'arbre peut être totale et se poursuivre jusque dans les racines ; après incendie, il ne reste alors plus qu'un trou dans le sol à l'emplacement de l'arbre. En cas de passages multiples du feu, les bourrelets cicatriciels successifs permettent par carottage de reconstituer l'histoire locale des feux.

L'impact des dégâts au système racinaire est encore mal connu, car très délicat à étudier (Ryan 1998). Cependant, la mortalité associée à des dégâts racinaires ne concerne que les espèces d'arbres dont les racines affleurent : compte tenu des propriétés isolantes du sol, les racines sont bien moins exposées que les parties aériennes de l'arbre.

Dégâts au houppier

Voyons maintenant plus en détail les mécanismes en jeu pour les dégâts au houppier, qui sont la principale cause de mortalité des arbres, en tout cas des pins matures dont l'écorce épaisse protège généralement bien les troncs.

Les parties aériennes les plus sensibles à l'échauffement sont les éléments les plus fins, comme les feuilles ou les bourgeons, et ce pour deux raisons. D'abord, le flux de chaleur qu'ils reçoivent est inversement proportionnel à leur épaisseur, donc d'autant plus important que l'élément est fin. Ensuite, plus un élément est fin, plus la chaleur se diffuse rapidement à l'intérieur, tuant plus de cellules et causant ainsi la mort de l'organe. Pour donner des ordres de grandeur, une aiguille de pin exposée à 60 °C pendant une minute sera tuée alors qu'un bourgeon de chêne vert pourra survivre près de 3 minutes. Mais l'exposition d'une aiguille de pin ou d'un bourgeon de chêne à une température de plus de 75 °C pendant cinq secondes entraînera systématiquement leur mort.

Les modes de transfert thermique

Conduction : c'est le mode de transfert de la chaleur de proche en proche, au sein d'un matériau, dont une extrémité est chauffée par exemple. La chaleur se propage rapidement dans les milieux fortement conducteurs, comme le métal, mais lentement dans les milieux faiblement conducteurs (l'écorce, le bois, l'air). La conduction joue un rôle clé dans la propagation des feux de litière de faible intensité ou dans les feux d'humus. Elle est aussi responsable de la destruction des cellules cambiales, car elle induit un transfert de chaleur entre l'extérieur de l'écorce et le cambium. Bien que ce transfert soit lent, les cellules cambiales seront tuées si le temps de séjour du feu au pied de l'arbre est excessif.

Rayonnement : c'est le mode de transfert de la chaleur sous forme d'ondes ou de particules par rayonnement électromagnétique. Il est possible dans les milieux dits semi-transparents, comme l'air. L'énergie reçue par un élément de végétation est d'autant plus importante que celui-ci est fin et diminue rapidement avec la distance entre l'émetteur et le récepteur. Certains matériaux permettent de réfléchir le rayonnement. Cette propriété est mise à profit pour la conception des vêtements de protection. L'influence du rayonnement dans la propagation des feux et les dégâts à la végétation est toujours significative. Il a longtemps été considéré comme le mode de transfert prédominant par les chercheurs et les praticiens, mais il est communément admis aujourd'hui que le transfert convectif joue un rôle non négligeable, voire dominant, dans le comportement du feu.

Convection : c'est le mode de transfert lié à une différence de température entre la végétation et l'air (généralement l'air chaud) transporté par le vent. Lorsque l'air est plus chaud que les éléments de végétation, celui-ci les échauffe d'autant plus qu'ils sont fins (feuilles, rameaux) et que la vitesse de l'écoulement est forte (dans un panache et/ou avec le vent). Lorsque l'on passe la main au-dessus d'une bougie, la chaleur que l'on ressent est transmise à la peau par convection depuis les gaz chauds du panache. Ce mode de transfert est très efficace et en grande partie à l'origine de l'accélération des feux en pente ou en présence de vent. Longtemps sous-estimé par rapport au transfert radiatif, ce mode de transfert est dominant dans la propagation de la plupart des feux rapides (vent, pente montante, etc.), mais est aussi à l'origine des dégâts aux houppiers. On notera bien que lorsque le gaz est plus froid que la végétation (par exemple, un vent soufflant sur une canopée préalablement échauffé), le transfert thermique conduit à un refroidissement. Celui-ci est très rapide, en particulier pour des éléments fins (feuillage) par fort vent et peut compenser un échauffement dû au rayonnement du feu de surface.

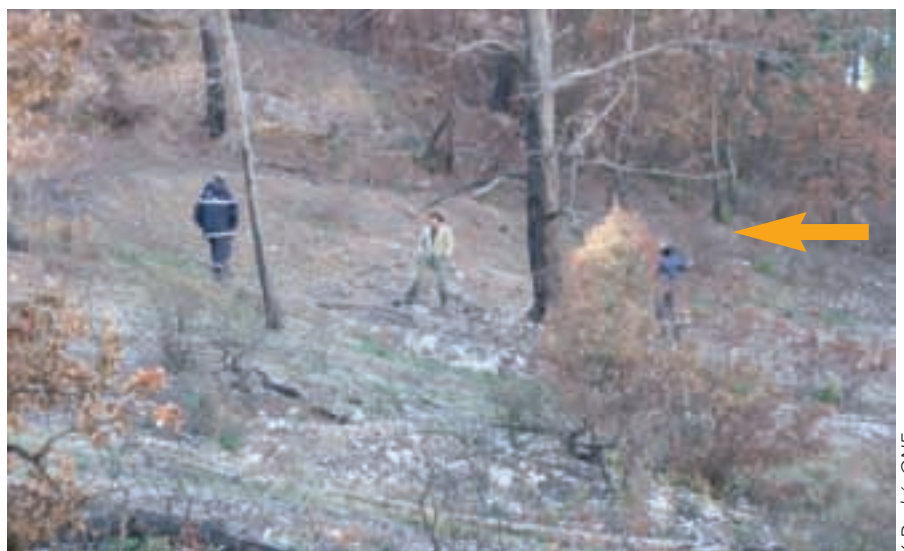


Fig. 3 : observation des traces de carbonisation dues au phénomène d'attachement de flamme

Ces traces sont nettement plus hautes du côté opposé à l'arrivée du feu (flèche jaune) et plus importantes sur l'arbre le plus gros.

Compte tenu de ces valeurs relativement faibles par rapport aux températures de flamme, on comprend que les organes doivent être à bonne distance de la flamme pour survivre. Ainsi, aucune feuille ni bourgeon ne survivra à un feu total.

Lorsque le feu ne se propage qu'en surface (brûlage dirigé ou incendie peu intense), le transfert thermique vers le houppier a lieu par convection et rayonnement. D'une manière générale, le transfert convectif est largement dominant du fait des forces de flottabilité (poussée d'Archimède) qui font monter les gaz chauds. On pourra, pour s'en convaincre, tester à quel point il est facile d'approcher la main sur le côté de la flamme d'une bougie (rayonnement seul), alors qu'il est impossible de l'approcher au-dessus à la même distance (rayonnement, mais surtout convection).

La hauteur h de roussissement foliaire pour un feu d'intensité donnée peut s'évaluer en utilisant le modèle de Van Wagner (1977) :

$$h = 4.55 \frac{l^{0.67}}{(60 - T_{air})}$$

où l est l'intensité du feu en kW/m et T_{air} la température de l'air.

En application de cette formule, pour une température de l'air de 20 °C et une intensité de 250 kW/m (intensité faible), la hauteur de roussissement estimée est de 4.6 m. Plus un arbre est haut et élagué, plus il a de chance qu'une part dominante de son houppier soit hors de danger par rapport au feu.

Cependant la présence de vent tend à incliner le panache, ce qui réduit les hauteurs de roussissement foliaire. Pour prendre en compte l'effet du vent, Van Wagner propose de diviser la hauteur de roussissement sans vent par la formule :

$$\sqrt{1 + 38 \frac{U^3}{l}}$$

où U est la vitesse du vent en m/s sous la canopée, sans que l'on ait beaucoup de recul sur la validité de la formule.

Des travaux récents réalisés par les auteurs du présent article montrent qu'un vent ambiant de 20 km/h peut réduire la hauteur de roussissement d'environ 30 % et cette réduction peut même atteindre 60 % pour 40 km/h, pour une intensité de feu fixée.

Application au diagnostic et à la prédiction de la mortalité après incendie

Si l'on occulte le phénomène d'attachement de flamme, plus un arbre est gros, plus son houppier et son cambium sont protégés. Ainsi, la résistance des arbres au feu augmente avec l'âge des individus jusqu'à une baisse de vigueur liée à la sénescence. La mortalité liée au feu intervient généralement durant les deux premières années après feu et on observe une stabilisation au bout de 3 à 5 ans. La présence de scolytes peut induire une mortalité différée jusqu'à 10-15 ans chez les plus vieux individus. Des facteurs abiotiques comme la sécheresse augmentent la mortalité après incendie. Le diagnostic précoce de la mortalité des arbres après incendie constitue un

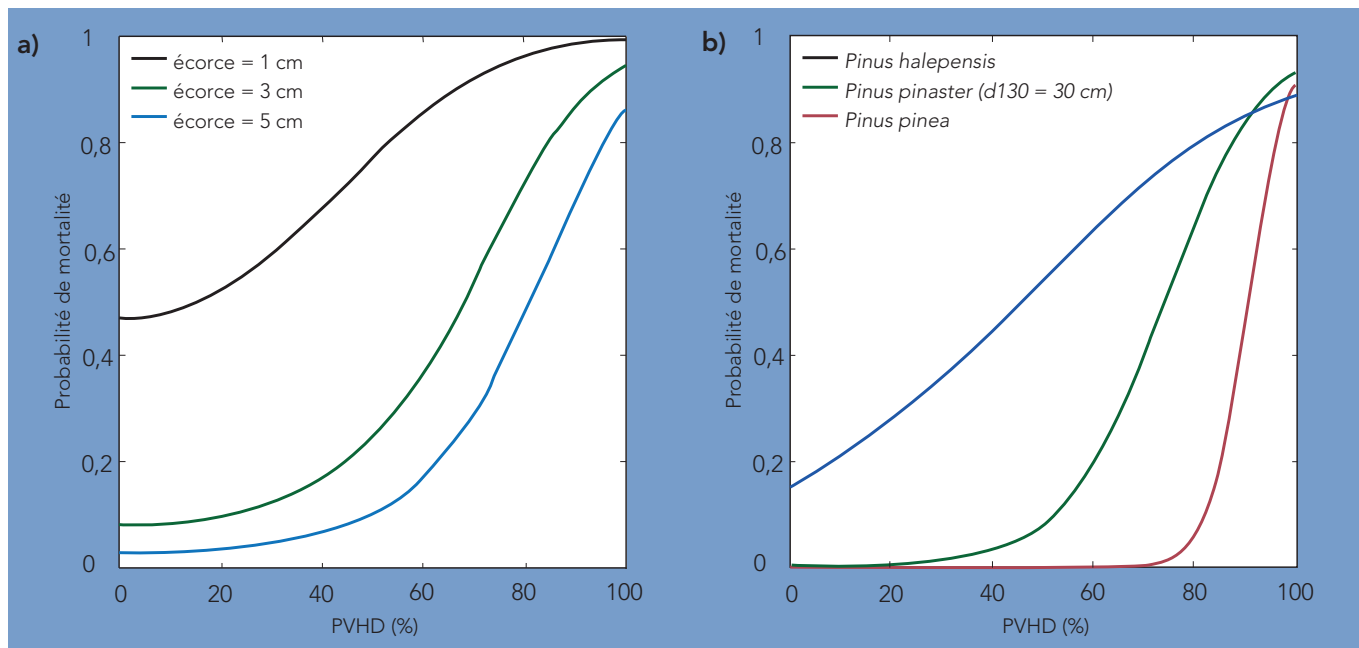
enjeu important pour le gestionnaire. En effet, il est parfois nécessaire de supprimer les arbres qui vont mourir, afin de limiter les risques d'attaques de scolytes, de sécuriser les abords des routes ou des chemins ou de limiter l'impact paysager dans certaines zones. Mais il convient de ne pas couper les arbres qui peuvent survivre, car ils ont encore un potentiel de croissance et surtout ils peuvent assurer une régénération naturelle.

Dans ce contexte, les chercheurs ont développé des modèles statistiques, qui estiment la probabilité de mortalité de l'arbre en fonction de certains paramètres dendrométriques (notamment le d130) et du niveau de dégât constaté (Note de carbonisation de l'écorce, part de la longueur du tronc carbonisée, part du volume du houppier desséchée). Ces indicateurs de niveau de dommage sont liés notamment à la hauteur de flamme et au temps de séjour du feu. Des modèles de ce type sont spécifiques et disponibles pour les pins pignon, d'Alep, maritime, laricio, et pour le chêne liège notamment, même si un modèle générique (non dépendant de l'espèce) a également été développé (tableau 1 et figure 4).

Espèces	Expression de L
Modèle générique (Ryan et Amman 1994)	$-1.94 - 0.000535PVHD^2 + 6.32 (1 - e^{-0.394EC})$
<i>Pinus halepensis</i> (Rigolot 2004)	$1.75 - 0.039 PVHD$
<i>P. pinaster</i> (Botelho et al. 1998)	$7.39 - 0.10 PVHD + 0.38 d130$
<i>P. pinea</i> (Rigolot 2004)	$33.0 - 0.31 PVHD - 1.9 NC$
<i>P. sylvestris</i> (Sidoroff et al. 2007)	$-1.52 - 0.19 PLC + 0.29 d130$
<i>P. nigra</i> subsp <i>laricio</i> (prob. mortalité immédiate) (Pimont et al. 2011a)	$7.65 - 0.12 PLC - 8.7 e^{-0.044 d130}$
<i>Quercus suber</i> (prob. de faible régénération) (Catry 2009)	$1.682 + 0.901 EC - 0.042 d130 - 0.0145 PLC$

P = probabilité de mortalité (« stabilisée » entre 2 et 4 ans, sauf mention contraire)
 L = combinaison linéaire des variables aléatoires du modèle logistique
d130 : diamètre à hauteur de poitrine (en cm)
NC : Note de Carbonisation de l'écorce (de 0 à 3)
PLC : Part de la Longueur du tronc Carbonisée (en %)
PVHD : Part du Volume du Houppier Desséchée (en %)
EC : Épaisseur d'écorce (en cm)

Tab. 1 : sélection de modèles statistiques de mortalité après incendie
 $P = [1 + \exp(L)]^{-1}$ pour les principales espèces européennes



a) modèle générique, pour 3 épaisseurs d'écorce

b) modèles par espèces

Fig. 4 : probabilité de mortalité après incendie, en fonction du roussissement foliaire ou part de volume du houppier desséché (PVHD, %)

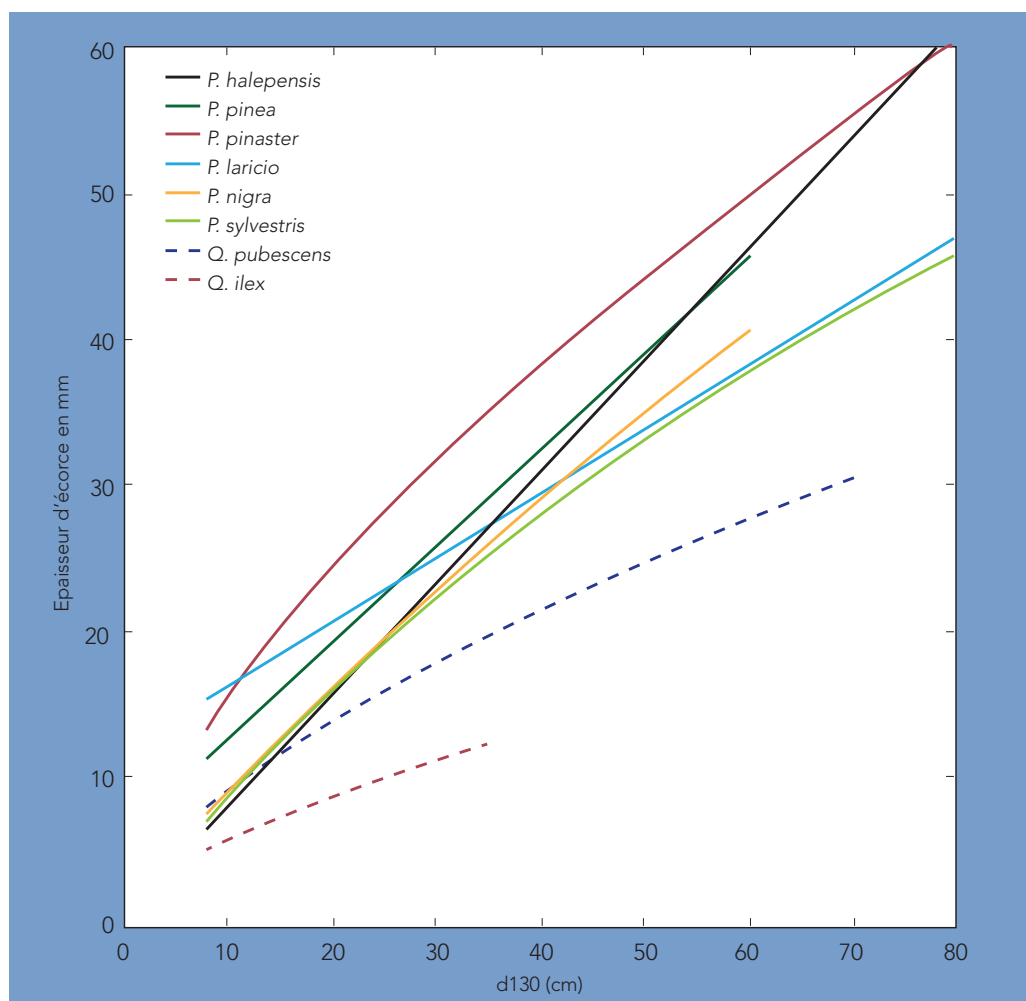


Fig. 5 : exemples de relation entre épaisseur d'écorce (mm) et diamètre de l'arbre (d130, cm), qui illustrent les différences entre espèces (origine des données : IFN)

La figure 4a illustre, à partir du modèle générique, le rôle clé joué par l'épaisseur d'écorce. Pour 50 % de roussissement foliaire, la probabilité de mortalité passe de 80 % à 10 % si l'épaisseur d'écorce passe de 1 à 3 cm. L'épaisseur d'écorce varie bien entendu avec d130 mais aussi avec l'espèce (figure 5), les feuillus (sauf le chêne liège) ayant en général des écorces beaucoup plus fines que les résineux à d130 équivalent. Le modèle générique ne rend pas compte de la résistance exceptionnelle de certaines espèces (pin pignon, chêne liège). Ainsi la probabilité de mortalité du pin d'Alep est beaucoup plus importante que celle du pin pignon pour un même niveau de roussissement foliaire : le pin pignon est capable de survivre dans 90 % des cas lorsque moins de 80 % de son houppier est roussi (figure 4b). Le pin maritime présente un comportement intermédiaire. Enfin, la comparaison des probabilités de mortalité des pins maritime et laricio de Corse a permis de mettre en évidence une moins bonne survie après incendie chez le pin laricio dans un peuplement de montagne (Pimont *et al.* 2011a).

Ces modèles constituent des outils intéressants pour le diagnostic de la mortalité et la comparaison des espèces entre elles. Globalement, on retiendra que, pour 50 % de houppier roussi, un individu ayant une écorce peu épaisse (feuillus, jeunes résineux) a une forte probabilité de mourir, alors qu'un individu ayant une écorce épaisse (résineux âgé) a de bonnes chances de survie. Cette forte épaisseur d'écorce est une première forme d'adaptation au feu.

Face au feu, la résilience du peuplement dépend de la survie individuelle, mais surtout de la régénération

Régénération post-incendie

La capacité des arbres à régénérer après l'incendie est la seconde adaptation clé. Deux stratégies exis-

tent : la dissémination de graines ou la production de rejets. L'efficacité de la dissémination de graines dépend de multiples facteurs comme la présence de semenciers, la réceptivité du sol, la présence de végétation concurrente (notamment les espèces qui rejettent), mais aussi de l'ouverture du milieu, de la saison d'occurrence de l'incendie et des conditions climatiques dans les mois qui suivent l'incendie. Ajoutons qu'un feu très sévère induit généralement une régénération faible (destruction de la banque de graines, mortalité de certains rejeteurs).

Une adaptation au feu fréquemment rencontrée chez les pins méditerranéens est la présence de cônes sérotineux (figure 6a) : ces cônes fermés par de la résine constituent une banque aérienne de graines dormantes, soumises lors d'un feu à des températures et surtout un temps de séjour beaucoup moins sévères que la banque de graines du sol ; sous l'effet de la chaleur, la résine fond et les cônes s'ouvrent, libérant les graines après passage du feu et permettant ainsi une régénération massive. Les chaleurs extrêmes atteintes à la surface du sol noirci par les cendres facilitent la levée de dormance des graines qui germent dans des conditions optimales de nutrition minérale et face à une pression de compétition réduite.

La stratégie de régénération après feu par la production de rejets (régénération dite végétative) est très fréquente dans les écosystèmes méditerranéens. Les rejets sont produits à partir de la souche par des bourgeons situés en dessous du sol (figure 6b). Notons d'ailleurs, que la production de rejets peut aussi avoir lieu dans le houppier pour reconstituer la cime lorsqu'elle n'est que partiellement endommagée par le feu (figure 6c).

Certaines plantes comme les pins se régénèrent uniquement par la voie

sexuée (à l'exception du pin des Canaries, assez marginal), et d'autres comme les chênes développent les deux stratégies simultanément avec souvent une dominante pour la reproduction végétative.



a) Cônes sérotineux (pin d'Alep)

Y. Duché, ONF



b) Rejets de souche (chêne kermès)

Y. Duché, ONF



c) Rejets de parties aériennes (chêne liège)

Y. Duché, ONF

Fig. 6 : mécanismes permettant la résilience post-incendie des espèces

Stratégie	Régime et intensité d'incendie compatibles	Taux de mortalité	Mode de régénération	Capacité de régénération	Espèces typiques
Espèces moyennement résistantes	Feux peu intenses	Moyen	Dissémination de graines	Faible	Pin noir Pin sylvestre
Espèces résistantes	Feux d'intensité modérée, mais fréquents	Très faible	Dissémination de graines	Faible	Pin pignon
			Production de rejets de souches	Moyenne à forte	Chêne liège
Espèces pionnières	Feux intenses	Fort	Dissémination de graines	Forte	Pin d'Alep Pin maritime Pin brutia
Espèces endurentes	Feux intenses et répétés	Très faible	Production de rejets	Forte	Chêne kermès Chêne vert Pin des canaries

Tab. 2 : stratégie adaptative des espèces ligneuses arborées méditerranéennes après incendie

Stratégies adaptatives des espèces face au feu

Les différents traits liés à la mortalité, la dispersion, la régénération et la croissance après incendie peuvent être résumés en trois stratégies adaptatives face à la perturbation : stratégies pionnière, de résistance ou d'endurance (tableau 2). On notera qu'il existe toujours un compromis entre ces différents traits, car aucune espèce ne peut à la fois cumuler une forte survie, de bonnes capacités de dispersion, une forte régénération et une forte croissance après incendie (il n'existe pas de « super-espèce »).

Les espèces « pionnières pyrophytes » privilégient une régénération sexuée forte et une bonne capacité de dispersion ; en contrepartie leur mortalité est forte. Il s'agit principalement pour les espèces arborées du pin d'Alep (figure 7), du pin brutia et du pin maritime. Ces espèces sont typiques des régimes de feux intenses. Leurs fortes capacités régénératives se traduisent généralement par un recrutement de plus de 1 000 tiges par hectare et pouvant même dépasser 100 000 tiges par hectare. Ces espèces pré-

sentent fréquemment des cônes sérotineux, le taux de sérotinie variant énormément d'un individu à l'autre et d'une population à l'autre. Ce taux peut atteindre 80 % dans certains peuplements jeunes et fréquemment incendiés. Sa variabilité pourrait expliquer les variations importantes de régénération post-incendie observées. Cependant, la régénération n'est plus possible lorsque la fréquence de feu est trop élevée (risque d'immaturité) : 5 à 7 ans après l'incendie, certains individus de la nouvelle génération sont déjà capables de produire des cônes mais il faut attendre 10 à 20 ans pour reconstituer la banque de graines. Pour une récupération complète et une maturité structurelle et fonctionnelle, on compte 20 à 30 ans.

Les espèces « résistantes » privilégient une mortalité faible ; il s'agit typiquement d'espèces de pins ou de chêne à mortalité faible et à régénération limitée comme le pin pignon ou le chêne liège ; leur croissance est généralement moins forte après l'incendie. Le chêne liège est capable de rejeter depuis ses branches 3 à 4 semaines après l'incendie, voire moins si des pluies significatives sur-

viennent avant ce délai. Ces espèces sont typiques des régimes de feu peu intenses (ou même intenses pour le chêne liège, figure 8), mais fréquents. Le pin pignon est capable de survivre même lorsque 80 % de son houppier est roussi. Sa régénération est plus modeste que celle des pionnières pyrophytes (entre 100 et 1 000 tiges par hectare), car bien que ses graines soient protégées dans des cônes épais, ses cônes ne sont pas sérotineux et les capacités de survie de la régénération sont faibles. À cela s'ajoute une faible distance de dispersion. Les espèces de montagne, comme le pin noir ou le pin sylvestre sont aussi à classer dans la catégorie résistante. En effet, leur régénération après incendie est quasi nulle (en général inférieure à 10 tiges par hectare), alors que leur survie après incendie peu intense est généralement satisfaisante. Ces espèces semblent correctement adaptées au passage de feu de surface (le plus souvent en fin d'hiver), comme en témoigne la présence fréquente de cicatrices de feu.

Enfin, les espèces « endurentes » sont capables de survivre à des incendies successifs et intenses. Il s'agit princi-



Y. Duché, ONF

Fig. 7 : 15 ans après un incendie, régénération de pin d'Alep et de chêne vert

palement d'espèces qui rejettent très bien (chêne kermès, chêne vert), dont la croissance après incendie est forte. Ces espèces sont typiques des régimes de feux fréquents. On notera d'ailleurs que les chênes verts sont susceptibles de perdre leur capacité à rejeter avec l'âge, ce qui laisse penser que leur capacité de survie après incendie pourrait diminuer en cas de longues périodes sans passage du feu.

Impact anthropique et conséquences du changement global

L'essentiel des incendies est d'origine anthropique, et leur fréquence augmente avec la densité de population. Les conséquences attendues du changement climatique comprennent une extension géographique du risque incendie, au-delà de la région méditerranéenne actuelle, et notamment vers l'Ouest de la France.



Y. Duché, ONF

Fig. 8 : peuplement de chêne liège 3 ans après un incendie de forte intensité (du type représenté en médaillon)

Les formations à pin d'Alep et à pin maritime, qui se situent déjà dans les zones les plus sèches en été, risquent donc d'être confrontées de plus en plus souvent au passage des incendies, au point ne plus parvenir à se régénérer ; cela conduirait progressivement à leur régression au profit de landes, garrigues et maquis à dominantes d'espèces « résistantes » arborées ou arbustives. En altitude, les années de sécheresse associées à une augmentation de la fréquence des feux intenses mettent en danger les peuplements caractéristiques de montagne. C'est notamment le cas en Corse où le pin maritime « monte » dans l'étage supra-méditerranéen dès ouverture du milieu et concurrence déjà le pin laricio.

Quant au chêne liège, son déclin actuel en Europe ne serait pas dû au feu, mais aux changements d'usage, aux maladies et peut-être au changement climatique.



S. Royer, ONF



S. Royer, ONF

Fig. 9 : coupe de combustible dans un peuplement de pin d'Alep

Noter la forte réduction de la masse combustible du sous-bois, mais aussi de la densité et du couvert de la strate arborée : les rares feuillus et quelques genévriers ont été conservés.

La sylviculture peut-elle protéger les pinèdes méditerranéennes contre le feu ?

La prégnance du risque incendie en zone méditerranéenne a conduit les forestiers à raisonner la sylviculture pour diminuer la vulnérabilité des peuplements forestiers. Cela concerne en particulier les pinèdes parce qu'elles sont très majoritaires (en France) et parce que les autres formations (de chênes vert et pubescent) sont le plus souvent des taillis ; or le traitement en taillis n'offre pas de possibilités sylvicoles de réduire la vulnérabilité du peuplement (élever la cime, limiter le combustible de surface), sauf en ce qui concerne éventuellement la répartition des coupes dans l'espace.

Sylviculture...

La sylviculture met à profit les facteurs écologiques et les potentialités naturelles pour assurer la pérennité et optimiser durablement les produits et les services que l'homme peut en attendre. Elle se conçoit donc en fonction d'objectifs déterminants qui, en région méditerranéenne, sont surtout d'ordre paysager, environnemental et social (sauvegarde du patrimoine arboré), la production de bois étant assez accessoire. Ainsi la sylviculture traditionnelle des pinèdes et des peuplements mélangés pin et chêne

consiste en un nombre restreint d'éclaircies fortes, avec sélection d'essences en faveur du mélange feuillus-résineux et parfois des élagages. Elle stimule la croissance individuelle des arbres et augmente la distance entre les couronnes ainsi que la hauteur de la base des houppiers. Elle est donc en principe propice à la protection des peuplements contre l'incendie, en permettant l'accroissement des épaisseurs d'écorce et en réduisant la continuité verticale et horizontale du combustible. Cependant l'ouverture de la canopée contribue à favoriser une végétation basse déjà naturellement très dynamique, où un feu devient inévitablement intense quel que soit le traitement appliqué à la strate arborée.

... et autres travaux de défense des forêts contre l'incendie

C'est pourquoi on pratique en parallèle des interventions qui ne relèvent pas de la sylviculture mais d'un dispositif de protection des massifs forestiers, et qui modifient profondément certains peuplements au point parfois de compromettre, au moins temporairement, leur capacité de régénération. C'est en particulier le cas de la création et de l'entretien des « coupures de combustible » (figure 9) : on n'y maintient (pour l'esthétique et la rugosité au vent) qu'un couvert arboré très réduit, de l'or-

dre de 25 % par exemple dans les peuplements à pin d'Alep, et on débroussaillie énergiquement tous les 2 à 4 ans en fonction de la vigueur des repousses. L'objectif est de modifier le régime de feu en faisant en sorte que l'incendie se réduise, sur la coupe de combustible, à un feu de surface peu intense sans passage en cime (sauf éventuellement sur quelques arbres isolés) afin de permettre l'intervention des services de lutte dans des conditions optimales de sécurité et d'efficacité (figure 10). Ce traitement de coupe de combustible ne s'applique qu'à une fraction faible de la surface forestière (l'objectif affiché est de l'ordre de 3 à 5 % selon les départements), sur des secteurs préalablement identifiés avec les services de secours comme zones d'appui pertinentes pour lutter contre le feu et limiter les surfaces parcourues.

Un réseau « coupe de combustible » s'est constitué. Il regroupe des chercheurs et des personnels des différentes entités intervenant dans la protection des forêts contre les incendies notamment pour mutualiser les réflexions sur ces coupures : conception (position par rapport au vent et au relief, maillage) et modalités de création et d'entretien (itinéraires techniques). Ce réseau a publié plusieurs guides à l'intention des praticiens ; il a aussi formalisé



Y. Duché, ONF

Fig. 10 : la coupure de combustible a bien eu l'effet attendu

Elle n'a été parcourue que par un feu au sol partiel, et les houppiers des arbres conservés n'ont pas participé à la combustion... de sorte que les pompiers ont pu arrêter le feu.

une méthodologie de retour d'expérience après incendie pour évaluer l'efficacité des coupures existantes, ce qui permet des échanges fructueux.

Alternative : une sylviculture « mixte » à but DFCI ?

Dans certains secteurs où, pour diverses raisons que nous ne détaillerons pas ici, cette complémentarité entre sylviculture traditionnelle et travaux de défense des forêts contre l'incendie (DFCI) n'est pas envisageable, les forestiers ont conçu une sylviculture dite à objectif DFCI qui, dans les peuplements matures, associe à chaque éclaircie « traditionnelle » une opération systématique d'élagage et de réduction des strates basses (débroussaillage, brûlage dirigé ou pâturage contrôlé). Des itinéraires techniques détaillés ont été élaborés localement, mais les objectifs poursuivis ne sont pas toujours clairement définis. Quoiqu'il en soit, l'efficacité de ce type de pratique reste à améliorer entre

forestiers, services d'intervention et organismes de recherche, en systématisant les retours d'expérience pour tirer les enseignements de tout incendie survenant dans ces secteurs.

Intégrer les réponses de la recherche dans les stratégies sylvicoles

Le travail doit donc se poursuivre, d'autant que les résultats récents de la recherche donnent déjà des éléments opérationnels pour structurer la réflexion sylvicole.

Éléments pour la gestion des pinèdes en milieu méso-méditerranéen

Une végétation dynamique de type méso-méditerranéen présente en général une quantité de combustible de surface supérieure à 4 tonnes/ha lorsqu'elle n'a pas subi de débroussaillage récent. Or on peut calculer (formule de Byram⁴) qu'un feu se propageant dans un

sous-bois de 4 t/ha à la vitesse modérée de 0,1 m/s (soit 360 m/h) a une intensité de 720 kW/m ; en été, pour une température ambiante de 30 °C, un tel feu peut roussir des houppiers jusqu'à plus de 12 m (d'après la formule de Van Wagner vue précédemment). En dehors de quelques forêts de pin pignon âgées ou de chêne liège, on voit mal quels peuplements pourraient survivre dans ces conditions. Ainsi, en région méso-méditerranéenne, il est illusoire de chercher à garantir la survie de la strate arborée à l'incendie par de simples mesures d'éclaircie et d'élagage ; cet objectif impose un travail complémentaire de débroussaillage régulier, que ce soit par brûlage dirigé, pâturage contrôlé ou débroussaillage mécanique (figure 11).

Mais le débroussaillage régulier modifie la structure du peuplement ; il est susceptible d'en modifier temporairement l'équilibre et de détruire l'essentiel de la régénération. En conséquence, il est à réserver à des peuplements pour lesquels l'objectif de survie des arbres en cas d'incendie est primordial (arboretum, peuplements porte-graines, peuplements paysagers, d'accueil du public...), sachant qu'il faudra nécessairement suspendre les opérations lors de la phase de régénération de ces peuplements, qui pourra s'étaler sur plusieurs années. Pour le reste de la forêt, mieux vaut chercher à préserver la possibilité de régénération plutôt que les arbres eux-mêmes. Dans ce contexte, la protection d'îlots de semenciers bien répartis au sein des massifs, pour assurer un minimum de régénération naturelle même en cas d'incendies très fréquents, est une idée prometteuse même si les distances de dispersions des pins sont généralement modestes. Par ailleurs, les dépressages précoces (5 ou 10 ans après incendie) ont montré qu'ils permettaient d'améliorer la vigueur des peuplements, d'augmenter la proportion d'arbres produisant des

⁴ L'intensité du feu vaut $I (kw/m) = 18000 W V$, avec W la charge (en kg/m^2) en combustible fin et V la vitesse de propagation du feu (m/s)



S. Royer, ONF

Fig. 11 : éclaircie à objectif DFCI, avec élagage et débroussaillage (qui ne sera pas répété avant la prochaine coupe, soit dans au moins une quinzaine d'années)

cônes, ainsi que le nombre et la qualité des cônes par individu. Cependant, compte tenu du nombre d'individus supprimés, l'impact sur la banque de graines totale est rarement positif, en particulier dans les stations de faible fertilité.

Éléments pour la gestion des pinèdes en milieu supra-méditerranéen

En milieu supra-méditerranéen, le sous-bois est moins dynamique, les arbres atteignent des dimensions plus importantes et ils ont une meilleure valeur marchande. Cela permet parfois des stratégies de sylviculture avec des éclaircies plus progressives (plus fréquentes et moins brutales que dans le cas précédent), du moins après la première éclaircie qui, elle, peut être forte et ouvrir temporairement le milieu si elle intervient tardivement du fait des contraintes du marché. C'est notamment le cas de certaines forêts de pins laricio en Corse, où le rythme des éclaircies permet une croissance assez régulière et soutenue sans trop favoriser

le développement du sous-bois. En outre, ces interventions progressives limitent la pénétration du vent dans le peuplement, ce qui assure sa survie pour des feux d'intensité modérée (scénarios de feu descendant ou latéral). Sinon, dès lors que la dimension des trouées excède la hauteur des arbres, le vent pénètre sous la canopée (Pimont et al. 2011 b), ce qui favorise à la fois la propagation du feu et les dégâts associés aux tempêtes (ces questions font l'objet de travaux de recherches actuels). On notera également que les itinéraires techniques correspondants visent non seulement la sauvegarde des peuplements arborés mais aussi la prise en compte des autres objectifs assignés à ces peuplements (accueil du public, maintien de la biodiversité et des paysages, etc.).

Éléments concernant le brûlage dirigé en forêt

Si paradoxal que cela puisse paraître, le brûlage dirigé est un bon moyen de prévenir le risque incen-

die en réduisant le combustible. Son usage en forêt peut poser question, en particulier vis-à-vis des usagers. Pourtant sa pratique peut être très efficace si les conditions météorologiques et la conduite du chantier permettent d'épargner les arbres et de contenir le feu, tout en faisant un brûlage relativement dynamique.

Pour épargner les arbres, le brûlage dirigé doit être conduit en conditions fraîches car, selon la formule de Van Wagner, un brûlage dirigé réalisé à la température ambiante de 10 °C induira une hauteur de roussissement 20 % plus basse qu'un brûlage de même intensité conduit par 20 °C. En outre, la fraîcheur de la température ambiante induit également une baisse de l'intensité du feu.

Par ailleurs, l'intensité du feu est directement proportionnelle à la quantité de combustible consommée durant le brûlage. La consommation de litière diminue avec son humidité (qui dépend de la météorologie du jour même et des jours précédents), mais augmente avec le temps de séjour du feu. En combinant les formules de Van Wagner et Byram, on peut évaluer la hauteur de roussissement foliaire par la formule :

$$h = \frac{82000 (W \times V)^{0,67}}{(60 - T_{air})}$$

où W est la charge en combustible (kg/m^2) et V la vitesse de propagation du feu (en m/s). À titre d'exemple, les hauteurs de roussissements prédites peuvent être visualisées sur la figure 12, pour deux températures de l'air et trois faciès typiques.

Comme nous l'avons vu précédemment, la présence de vent tend à réduire la hauteur de roussissement d'un feu d'intensité donnée. Il peut donc être utile de réaliser le brûlage en conditions modérément ventées, sous cer-

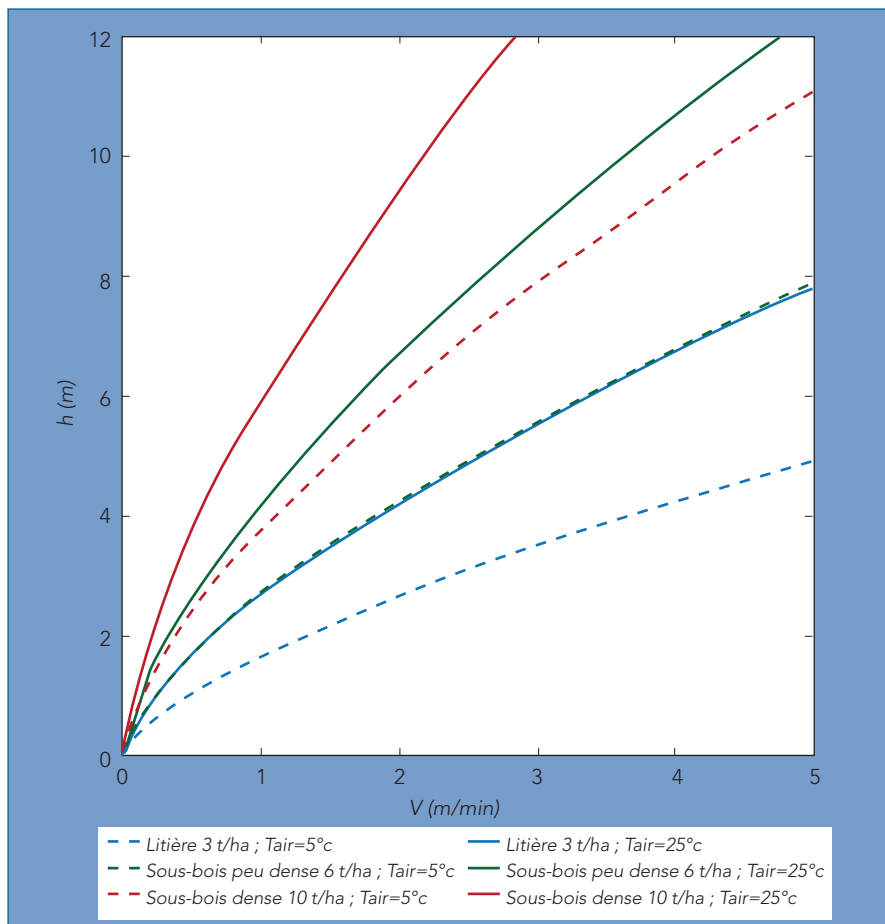


Fig. 12 : hauteurs de roussissement foliaire pour différents sous-bois typiques et deux valeurs de températures de l'air, en fonction de la vitesse de propagation du feu (m/min)

taines conditions. En effet, le vent permet la propagation du feu dans des conditions de forte humidité et faible température ambiante, propres à minimiser les impacts. Ce type de brûlage doit être conduit en « bandes successives », selon le principe présenté sur la figure 13, afin de contrôler la vitesse de propagation du feu ; le chef de chantier peut alors empêcher le feu d'accélérer sur chaque bande en réduisant sa largeur, de manière à maintenir l'intensité du feu dans une limite acceptable. D'une manière générale, on veillera donc à travailler avec des températures ambiantes basses, si possible en présence de vent (20 à 40 km/h), et en maintenant l'intensité du feu dans une gamme permettant la propagation, mais suffisamment faible pour limiter les dégâts sur les houppiers. Sans oublier qu'en cas de vent, les dégâts sont produits dans la colonne de convection, c'est-à-dire largement en aval de la zone en combustion.

Mais la « fenêtre de tir » est réduite : pas plus de 15 à 20 jours par an dans l'étage méso-méditerranéen. Le brûlage dirigé ne peut donc pas se substituer au débroussaillage classique, d'autant qu'il mobilise beaucoup de monde et exige une grande compétence. Pas question d'y renoncer pour autant : c'est aussi, pour les gestionnaires et équipes de secours, un moyen indispensable de se « roder » face au feu et d'acquiescer les bons réflexes.

En résumé et pour conclure

Deux mécanismes différents liés au passage du feu peuvent conduire à la mort immédiate de l'arbre : un feu qui reste longtemps au pied d'un arbre dont l'écorce est trop mince et/ou un panache qui chauffe trop le houppier.

Il en résulte qu'en basse région méditerranéenne, compte tenu de l'abondance de la biomasse arbustive et de la faible taille des ar-



Y. Duché, ONF

Fig. 13 : conduite d'un brûlage dirigé en bandes successives
Les bandes 1, 2, 3... sont allumées successivement et leur largeur est modulée en fonction du vent, de la pente, et de la quantité et de l'état du combustible au sol.

bres, la sylviculture seule ne peut suffire à protéger le peuplement, sauf peuplement exceptionnellement haut ou très fermé et quasiment sans sous-bois. Un débroussaillage complémentaire est généralement indispensable. Cette analyse ne s'applique pas aux peuplements de montagne, nettement plus hauts et avec des sous-bois moins dynamiques.

Pour mettre en œuvre le débroussaillage en milieu boisé, le brûlage dirigé peut être une bonne solution s'il est conduit dans des conditions adéquates (en particulier de température ambiante et de vent). Comme ces conditions sont assez contraignantes, les journées permettant le brûlage sont peu nombreuses, ce qui limite les surfaces pouvant être traitées de cette manière.

Par ailleurs les espèces de pins sont d'une manière générale menacées par une augmentation des fréquences de feu, que ce soit en basse région méditerranéenne, où la reconstitution de la banque de graines nécessite entre 10 et 20 ans, ou même en montagne où les peuplements régénèrent mal après incendie sévère.

Enfin, l'impact probable du changement climatique sur la fréquence de feux, à la fois en zone méditerranéenne et dans l'ouest de la France, nous impose de poursuivre et élargir la réflexion sur l'adaptation des sylvicultures et les travaux de prévention.

François PIMONT
Jean-Luc DUPUY
Éric RIGOLOT

Écologie des forêts
méditerranéennes
UR0629
INRA Avignon

Yvon DUCHÉ
Pôle territorial DFCl
ONF DT Méditerranée

Bibliographie

Botelho HS, Rego FC, Ryan KC, 1998. Tree mortality for *Pinus pinaster* of Northern Portugal. In : Proc. 13th Conf. Fire and Forest Meteorology. IAWF. pp. 235-240

Catry FX, Moreira F, Duarte I, Acacio V, 2009. Factors affecting post-fire crown regeneration in cork oak (*Quercus suber* L.) trees. European Journal of Forest Research vol. 128, pp. 231-240

Fernandez PM, Vega JA, Jimenez E, Rigolot E, 2008. Fire résistance of European pines. For. Ecol. Management vol. 256, pp. 246-255

Gutsell SL, Johnson EA, 1996. How fire scars are formed: coupling a disturbance process to its ecological effect. Canadian Journal of Forest Research vol. 26, pp. 166-174

Pimont F, Rigolot E, Prodon R, 2011a. Comparison of post-fire mortality in endemic Corsican black pine (*Pinus nigra* ssp. *laricio*) and its direct competitor (*Pinus pinaster*). Annals of Forest Sciences, vol. 68 n°2, pp., 425-432

Pimont F, Dupuy J-L, Linn RR, Dupont S, 2011b. Impact of tree canopy structure on wind-flows and fire propagation simulated with FIRETEC. Annals of Forest Sciences vol. 68 n°3, pp. 523-530

Rigolot E, 2004. Predicting postfire mortality of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L. Plant Ecology vol. 171, pp. 139-151

Ryan KC, 1998. Analysis of the relative value of morphological variables in predicting fire-caused tree mortality. In : Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire and Forest Meteorology. Luso-Coimbra, Portugal (Ed. DX Viegas) pp. 1511-1526 (ADAI -Associacao para o Desenvolvimento da Aerodinamica Industrial: Coimbra, Portugal)

Ryan KC, Amman GD, 1994. Interactions between fire-injured trees and insects in the greater Yellowstone area. Plants and their Environments. In : US Department of Interior and National Park Service (ed.), Book of Proceedings of the First Biennial Scientific Conference on the Greater Yellowstone Ecosystem 1991, pp. 259-271

Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R, 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin ?- A review. Int. J. Wildland Fire, vol. 17, pp.713-723

Sidoroff K, Kuuluvainen T, Tanskanen H, Vanha-Majamaa I, 2007. Tree mortality after low-intensity prescribed fires in managed *Pinus sylvestris* stands in southern Finland. Scand. J. For. Res., vol. 22, pp. 2-12

Van Wagner CE, 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. Canadian Journal of Forest Research, vol. 7, pp. 23-24

Le retour des cendres de bois en forêt : opportunités et limites

Avec les objectifs de développement des énergies renouvelables, la demande en bois énergie est en forte progression et induit, d'une part, une exportation accrue de biomasse forestière et, d'autre part, une production de cendres considérable. Cendres où se concentrent les éléments minéraux, qui n'interviennent pas dans la combustion. D'où l'idée du recyclage de ces minéraux par retour des cendres aux sols forestiers dont elles « proviennent ». L'idée est simple dans son principe mais soulève bien des questions. Voici une synthèse des connaissances actuelles et un tour d'horizon de la situation en France et en Europe.

En 2008, dans le cadre de son « paquet énergie-climat », l'Union européenne s'est fixé pour objectif de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % d'ici 2020 et de porter à 20 % la part des énergies renouvelables dans la consommation totale. Ce plan inclut notamment le développement de chacune des filières énergies renouvelables, dont celle de la biomasse. Pour cela, la France dispose d'un atout essentiel : sa forte couverture forestière (plus de 16 millions d'hectares, soit 29 % du territoire national, avec une progression de 12 % sur les vingt dernières années) qui la place au 3^e rang au niveau européen en surface forestière et en potentiel bois énergie après la Suède et la Finlande.

Différentes études nationales ont montré que ce potentiel est encore peu mobilisé ainsi qu'en atteste le niveau de consommation de bois énergie par habitant qui n'est qu'au sixième rang européen. Le « gisement » potentiel en bois énergie réside en partie dans les menus bois ou « rémanents » ; pour des raisons de restitution de minéraux aux sols, auxquelles se sont ajoutées des justifications en termes de biodiversité, les recommandations concernant la

Origine des projets	Puissance totale installée ou prévue	Part de ces installations produisant des "cendres propres"
Projets cogénération, en MW électrique (MWé)		
CRE1 2005 (puissance installée= 6 projets, 40% de la puissance prévue)	94	0 %
CRE2 2008 (puissance installée = 35% de la puissance prévue)	116	26 %
CRE3 2010 (puissance prévue)	266	82 %
CRE4 2011 (puissance prévue)	421	51 %
Cogénération hors CRE (installée)	31	53 %
Projets "Chaleur" en MW thermique (ADEME, Fonds de chaleur : projets « Biomasse Chaleur Industrie, Agriculture et Tertiaire »)		
BCIA 2009 (prévu 140 000 tep)	488	74 %
BCIAT 2010 (prévu 226 000 tep)	785	97 %
BCIAT 2011 (prévu 119 000 tep)	414	72 %
Chaleur hors BCIAT	48	100 %
Fonds de Chaleur de 2000 à 2009 (prévu 710 000 tep)	2 161	71 %

Tab. 1 : bilan des puissances cumulées installées depuis 2000 ou prévues avec les chaufferies aidées par l'ADEME et les projets CRE, en tenant compte des projets abandonnés

La part de cendres dites propres, correspond aux installations approvisionnées uniquement en bois brut (plaquettes forestières et connexes de scieries), sans mélange de bois adjuvants ou de déchets.

Le Mégawatt électrique (MWé) est l'unité de puissance des centrales de cogénération ; à titre indicatif, la production d'électricité à partir de chaleur nécessite une puissance environ 4 fois supérieure en Mégawatt thermique

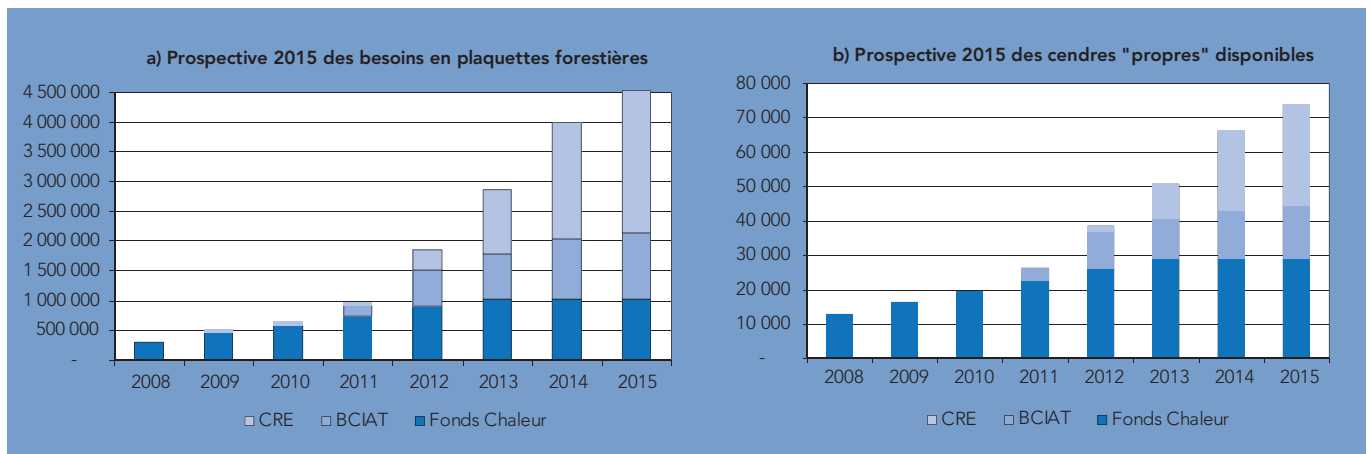


Fig. 1 : estimation a) de l'évolution de la demande en plaquettes forestières et b) de l'évolution des cendres propres produites jusqu'en 2015 (en tonnes par an)

Estimation à dire d'expert sur la base des projets retenus aux appels d'offre CRE et ADEME, en tenant compte des projets abandonnés. Pour l'estimation des quantités de cendres, la prospective d'utilisation des connexes de scieries est ajoutée à celle des plaquettes forestières, mais seules sont retenues les cendres d'installations exclusivement alimentées en bois propre : plaquettes et connexes, sans adjuvant.

mobilisation des menus bois sont jusqu'ici très restrictives. Or, dans un contexte de demande accrue de bois énergie, on doit envisager, avec tout le discernement qui s'impose, les modalités d'une gestion durable des forêts dans lesquelles les menus bois sont susceptibles d'être exploités.

Parmi les pays forestiers qui exploitent le plus fortement le bois énergie, les pays scandinaves (Finlande et Suède notamment) sont en première place pour cette exploitation, tout en veillant scrupuleusement à la durabilité de leurs forêts. En particulier la récolte de menus bois est associée à des apports compensatoires en éléments minéraux, notamment par retour au sol des cendres de bois. Les modalités d'apport font d'ailleurs l'objet d'études expérimentales depuis plus d'une quinzaine d'années. Ce retour des cendres est même explicitement inscrit dans le règlement PEFC ou FSC des pays scandinaves et de l'Autriche.

Avec l'essor des chaufferies bois en France, la question du recyclage d'une quantité croissante de cendres devient hautement stratégique : ces minéraux issus des écosystèmes forestiers ont-ils vocation à y retour-

ner ou, selon le contexte actuel, à être transférés vers les sols agricoles ? Cependant, si l'apport de cendres de bois peut être assimilé à un amendement minéral basique, les cendres peuvent aussi contenir, selon l'origine des autres matériaux brûlés avec les plaquettes forestières ou connexes de scierie, des quantités non négligeables de métaux lourds. Dans un esprit de gestion durable de nos forêts, la question du recyclage par retour des cendres au sol est donc clairement posée.

Cet article vise à faire un point sur l'opportunité de leur épandage en forêt, sur leur composition et les dernières études sur les impacts pour les sols, sur le contexte réglementaire et son évolution et enfin, sur les contraintes techniques et logistiques associées à leur épandage. Il ne concerne que des cendres issues de biocombustion, et non celles provenant des autres procédés de transformation du bois énergie (gazéification pour les biocarburants de deuxième génération par exemple). De même, nous ne parlerons que des cendres « sous foyer », par opposition aux cendres « volantes » récupérées dans les systèmes de filtration qui sont très différentes en composition.

Réfléchir au devenir des cendres de bois, une impérieuse nécessité

En 2001, l'ADEME a piloté plusieurs études autour des cendres de chaufferies de bois et estimait à cette époque à environ 37 000 tonnes la production annuelle de cendres en France (toutes unités confondues et tous types de cendres). À titre de comparaison la production annuelle de cendres de bois en Suède atteignait déjà 300 000 tonnes (RecAsh, 2006).

En 2011, une nouvelle évaluation peut être faite en tenant compte de l'évolution des unités de combustion de biomasse (pour de la production de chaleur ou pour de la cogénération chaleur/électricité), d'après les résultats des appels d'offres successifs de la Commission de régulation de l'énergie (CRE) et des programmes gérés par l'ADEME. Malgré l'abandon de certains projets, notamment ceux des appels d'offres CRE1 et CRE2, les puissances installées sont en forte augmentation (tableau 1).

L'essor des approvisionnements en plaquette forestière

Si les premiers projets de chaufferies ou de cogénération à partir de

biomasse avaient un plan d'approvisionnement varié, essayant de valoriser au mieux des sources de biomasse locales, avec souvent une partie de déchets (boues papetières, déchets industriels, bois traités, déchets agricoles, déchets verts...), la part de plaquette forestière devient de plus en plus forte¹. D'une part les appels à projets de l'ADEME et de la CRE exigent, pour un approvisionnement d'origine sylvicole, une part majoritaire en plaquettes forestières (50 % minimum du pouvoir calorifique) et d'autre part les quantités de déchets sont limitées et déjà bien valorisées, si bien que les nouveaux projets se tournent de plus en plus vers la ressource forestière encore disponible. La montée en puissance des projets BCIAT et CRE entraîne donc une forte hausse de la consommation de bois pour l'énergie sous forme principalement de plaquettes forestières. Le volume de marché observé de la plaquette en 2011 était autour de 800 000 tonnes et, en étant plutôt prudent sur la réalisation des projets en cours², ce marché devrait dépasser les 4,5 millions de tonnes en 2015 (figure 1a). Cet essor du marché de la plaquette forestière s'accompagnera aussi d'une augmentation des consommations des volumes de connexes et de produits bois en fin de vie, qui devraient atteindre en 2015 respectivement 1,7 million de tonnes et 1 million de tonnes, selon nos hypothèses prudentes de réalisation des projets.

Une très forte augmentation de la production de cendres de bois...

La quantité de bois consommé est très liée à la puissance des chaudières avec, selon les approvisionnements et les types de combustion, un taux de cendres de 1 à 4 % environ (jusqu'à 6 % pour l'écorce, voir encadré). Lorsque les chaudières sont bien réglées et l'approvisionnement homogène en qualité (humidité et densité), le taux

de cendres est d'environ 1.5 % du tonnage frais en entrée de plaquettes forestières ou de connexes de scierie.

Sur la base de la consommation de bois estimée précédemment, la prospective 2015 donne une estimation de 110 000 tonnes de cendres de bois. Mais pour cet article qui s'intéresse à l'éventuel retour des cendres de bois en forêt, nous avons choisi de restreindre encore ces estimations aux cendres des unités alimentées exclusivement en bois brut, sans mélange avec d'autres approvisionnements (déchets, boues, bois recyclés). Avec cette hypothèse très restrictive, l'estimation des quantités de cendres de

bois pur et non mélangées, que nous appellerons cendres « propres », est de 74 000 tonnes à l'horizon 2015 (figure 1b), et les objectifs du Grenelle de l'Environnement pour 2020 laissent envisager encore une progression. Elles devraient **dépasser les 100 000 tonnes à la fin de la décennie**.

À noter que ces quantités déjà conséquentes de cendres de bois propres, sur lesquelles se fonde le scénario d'un recyclage de forêt à forêt, représentent moins de 30 % des cendres produites au total. Les autres sont souvent issues de mélanges avec des déchets, qui peuvent être simplement des déchets verts, des déchets agricoles ou des boues papetières. Notre

Comment et pourquoi le taux de cendres varie ?

Le taux de cendres produites dépend beaucoup du produit brûlé. Pour la biomasse forestière, ce taux varie de 1 % de la matière sèche pour du bois, à 6 % pour de l'écorce, en conditions standardisées de combustion (voir figure 2). Pour les plaquettes forestières, la part d'écorce est un paramètre important pour juger de la qualité du combustible. Les connexes de scierie après écorçage donnent un plus faible taux de cendres. Le pourcentage de cendres est plus important pour la biomasse agricole sèche (3-5 % pour switchgrass, 5-6 % pour triticale, 2-4 % pour miscanthus et 8-10 % pour fétuque ou luzerne).

Ce taux dépend fortement des conditions de combustion et principalement du taux d'humidité de cette biomasse. Pour une biomasse à 20 % d'humidité (en simple séchage naturel extérieur), le taux de cendres augmente facilement de 50 %, tandis que l'on perd en même temps en chaleur produite (la combustion est moins efficace et on retrouve beaucoup d'éléments non consommés dans les cendres ainsi que des huiles et de la suie en dépôt sur les parties froides des appareils). Finalement pour des plaquettes forestières à un taux moyen d'humidité de 30 %, le taux de cendres moyen est de 1,5 %.

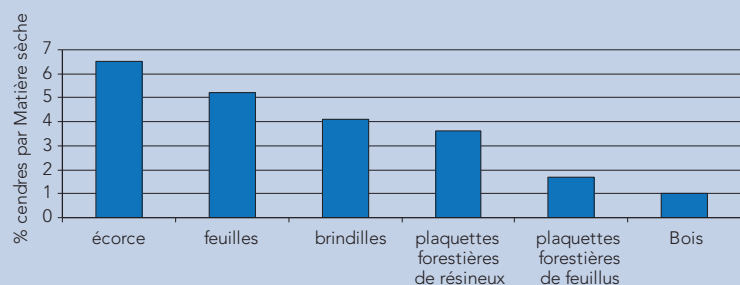


Fig. 2 : taux de cendres produites par la combustion de différents types de biomasse agricole ou forestière, en %, de la biomasse sèche (données issues du projet ANR Regix)

¹ Rappelons en effet que la plaquette forestière représente environ 50 % des approvisionnements des projets CRE (moyenne CRE1 à CRE4), et 62 % des approvisionnements des projets BCIAT (BCIAT 2009 à 2011), contre 37 % pour les projets de chaufferies ADEME 2000-2009.

² Hypothèse minimale de 75 % de réalisation des projets retenus dans le cadre du BCIAT, de 50 % des projets lauréats de l'appel à projet CRE3 et 30 % des projets lauréats du CRE4.

article ne traite pas de ces autres cendres qu'il faudrait analyser au cas par cas. Signalons cependant que l'ADEME a mis en place en 2011 un dispositif d'audit, sur la partie approvisionnement des chaufferies bois, qui permettra à terme d'évaluer la qualité des cendres sous foyer, notamment pour ces situations d'approvisionnement composite.

... Mais un débouché actuel au bord de la saturation

Cependant ces quantités croissantes de cendres sont actuellement très peu valorisées, notamment du fait d'une réglementation confuse. En 2006, 60 % des cendres étaient utilisées en co-compostage, 25 % dans le cadre de plans d'épandage agricole et 15 % en centre d'enfouissement (décharge).

Si les cendres de charbon sont très utilisées en travaux publics de par leur propriété à former des agglomérats de type pouzzolane dès qu'elles sont mouillées, la richesse des cendres de bois en silicium, fer et aluminium limite cette possibilité d'utilisation. La voie la plus courante actuellement reste donc le traitement dans des centres de compostage, mais toujours en faible proportion, de sorte que cette filière ne pourra pas absorber les volumes supplémentaires qui s'annoncent (d'autant que la norme NF U 44-051 qui s'impose depuis 2010 aux composts commercialisables a introduit de nouvelles limitations). Il en sera de même de l'épandage agricole, indépendamment des ambiguïtés réglementaires.

Enfin, les tentatives de commercialisation de certaines cendres de bois comme engrais (P, K) ou amendement se heurtent au constat que les démarches d'homologation sont difficiles pour un produit de composition fortement variable ou que les normes existantes sont très limitantes pour ce type de produit, ce qui ne permet pas d'élargir les débouchés.

Caractérisation des cendres de bois

Au départ la biomasse est principalement composée de C, H, O : carbone (souvent de 46 à 52 %), hydrogène (6 à 8 %), oxygène (40 %). On trouve également de l'azote (moins de 1 %) et le reste est constitué par différents éléments minéraux. Ces derniers peuvent être séparés entre les macro-éléments (calcium, silicium, potassium, aluminium, magnésium, fer, soufre, manganèse, sodium et phosphore) et les micro-éléments, dont les oligo-éléments nécessaires à la vie (comme zinc, bore, cuivre) et les éléments toxiques dits aussi éléments traces métalliques ou ETM (plomb, chrome, nickel, arsenic, sélénium, cadmium et mercure notamment).

Composition des cendres et principales caractéristiques

Au cours de la combustion, réaction d'oxydoréduction qui produit de la chaleur, l'oxygène du bois et de l'air est consommé pour oxyder une grande partie du carbone ainsi que l'hydrogène, libérant dans l'atmosphère du CO₂ et de l'eau. Les éléments minéraux sont aussi plus ou moins oxydés : l'azote est en grande partie volatilisé (en N₂ et NO_x), ainsi qu'une petite partie du soufre (sous la forme SO₂), tandis que le reste se retrouve sous forme de composés solides dans les cendres, avec des combinaisons et concentrations finales qui vont dépendre des températures de combustion atteintes (Pitman 2006).

L'une des fortes caractéristiques des cendres est leur **pH toujours fortement basique** (autour de 12). En effet, elles ont une teneur importante en carbonates (CaCO₃) et en oxydes de calcium (chaux vive = CaO), potassium (potasse = K₂O) et sodium (soude = Na₂O), qui ont un pouvoir basique très fort. On peut retenir les ordres de grandeur suivants : 25 à 50 % de chaux vive, quelques pour cent de potasse, de soude et d'oxydes de magnésium (magnésie

= MgO), de fer et de manganèse, également basiques. Du fait de ce fort pH, les constituants acides (acide phosphorique, acide silicique, acide sulfurique), moins fortement concentrés, sont neutralisés et se retrouvent sous forme de sels (phosphates, silicates et sulfates). Normalement il ne reste quasiment plus de carbone dans les cendres, sauf quand la combustion est incomplète.

Par comparaison à la biomasse d'origine agricole, la biomasse forestière a de plus fortes valeurs calorifiques (environ 1 MJ.kg⁻¹ en plus), ce qui s'explique en grande partie par sa forte proportion de carbone. À l'inverse, elle produit beaucoup moins de cendres ; l'ensemble des éléments minéraux de la matière première est d'ailleurs un bon indicateur du taux de cendres, toutes choses égales par ailleurs.

Une forte variabilité de la composition des cendres

La composition de ces cendres est très variable (tableau 2 et figures 3 et 4) et dépend de nombreux facteurs, dont le premier est **l'origine du bois**. En effet dès que la biomasse initiale contient des bois traités ou des déchets, les teneurs en micro-éléments et notamment en métaux lourds augmentent rapidement dans les cendres, à la différence des cendres provenant de bois dits « propres ».

Cette proportion d'éléments minéraux varie aussi selon **le compartiment d'arbre considéré**. L'écorce, les feuilles et les racines contiennent au départ une plus forte proportion d'éléments minéraux, ce qui explique en général un plus faible pouvoir calorifique et un taux de cendres plus important. Cependant les feuilles contiennent une proportion particulièrement forte d'azote qui est volatilisé pendant la combustion. Finalement les cendres issues d'écorce ou de feuilles contiennent 5 à 10 fois plus d'éléments minéraux que les cendres issues de bois.

Eléments en mg/g	moyenne	intervalles de valeurs	Eléments en µg/g	moyenne	intervalles de valeurs
C	250	.	As	10	3-60
N	1	.	Cu	70	15-300
P	3	0,5-15	Zn	300	15-2200
K	30	2-130	B	100	10-300
Ca	200	40-350	Mo	10	3-120
Mg	15	3-25	Cd	3	0-25
S	10	4-20	Cr	35	10-250
Na	3	2-5	Co	10	<1-20
Fe	10	5-20	Pb	70	15-650
Al	20	10-30	Hg	.	0-1
Si	80	1-180	Ni	20	6-200
Mn	5	<1-30	Se	5	0-10

Tab. 2 : répartition des différents éléments minéraux dans les cendres et intervalles de variation selon Augusto et al., 2008, pour une large gamme de biomasses (agricoles et forestières), données issues de la littérature scientifique

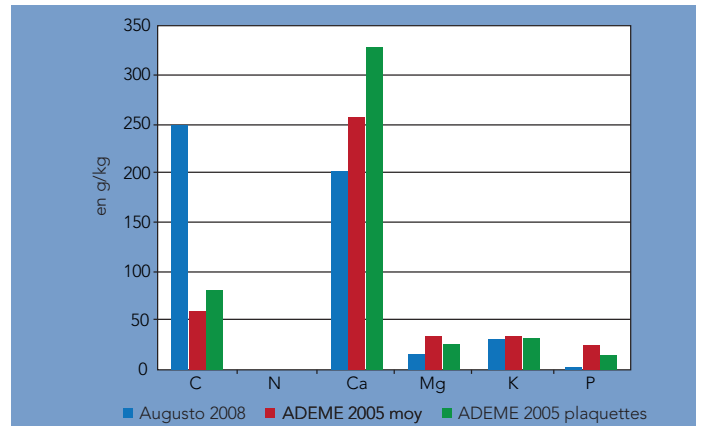


Fig. 3 : comparaison des données d'Augusto et al. (tableau 2) avec les données publiées en 2005 par l'ADEME pour des plaquettes forestières pures ou en moyenne pour différentes biomasses ligneuses

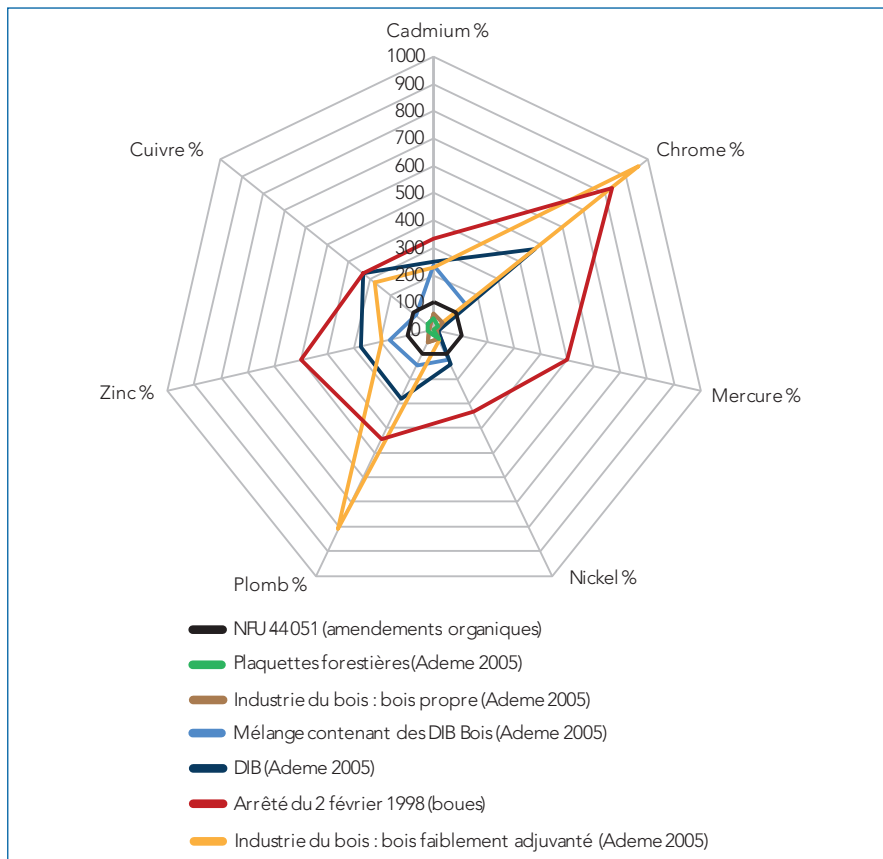


Fig. 4 : composition des cendres en métaux lourds (ETM), standardisée par rapport aux « plafonds » (référence 100) de la norme NFU44-051 relative aux amendements organiques, particulièrement exigeante

Cette norme indique un niveau de concentrations en ETM garantissant l'innocuité d'apports réguliers (annuels, par exemple) sur sols agricoles. Noter que seules les cendres de bois dits « propres » satisfont à cette exigence tandis que les autres sources (bois légèrement adjuvantés ou DIB = déchets non dangereux) dépassent les seuils. Noter aussi la comparaison avec les exigences sur les boues d'épuration (arrêté du 2 février 1998).

Le taux de cendres des branches est aussi plus important que celui du tronc de par leur plus forte proportion d'écorce. Enfin les variations entre essences sont moins documentées mais semblent fortes : il existe des différences entre espèces d'un même genre mais aussi entre arbres d'une même espèce selon la station et enfin entre arbres d'un même site récoltés à des périodes différentes de l'année (tableau 3).

Au-delà de la matière première brûlée, la puissance de la chaudière et surtout la **température de combustion** ont aussi une influence sur la réaction de combustion et donc sur les éléments volatilisés (N, K, Cl et B) ou non et sur les oxydes formés (quantité et nature³). En particulier, le taux de cendres diminue quand la température augmente.

Effets des cendres sur le milieu : état des connaissances

Les cendres peuvent être vues sous trois aspects lorsqu'elles sont épanchées sur des sols cultivés ou forestiers (voir aussi l'encadré concernant la biodiversité) :

³ Par exemple CaCO_3 se décompose entre 650 et 900 °C, ce qui explique une augmentation du taux de calcium dans les cendres en-dessous de 900 °C ; au-delà de 900°, c'est la dissociation du carbonate de potassium (avec volatilisation des oxydes de potassium) et celle des sulfates de calcium et de potassium qui expliquent la diminution du potassium et du soufre.

Macro éléments mg/g	Résineux			Feuillus		
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus sp</i>	<i>Pinus abies</i>	<i>Betula pubescens</i>	<i>Quercus rubra</i>	<i>Quercus alba</i>
Al	1-18	4,7	-	3	6,8	ND
Ca	600	290	700	500	366	314
Fe	3-15	5,8	-	7	-	0,9
K	300	162,5	300	400	60,8	102,5
Mg	120	70,3	90	90	52	75,7
Mn	70	40,4	90	90	14,9	1,4
Na	3-22	0,6	-	7	0,8	ND
P	30	8,4	20	40	15,6	5,6
S	-	10,7	-	100	18	12,1
Si	-	ND	-	90	ND	1,3

ND = non détecté "-" = données non disponibles

Tab. 3 : illustration de la variation des compositions de cendres issues de différentes essences (source Pitman 2006), avec par exemple des différences marquées entre des espèces de même genre

- le premier est un **effet sur le pH, type amendement**⁴, avec une équivalence indicative de 2 tonnes de cendres pour 1 tonne de carbonate de calcium. Des épandages importants se pratiquent à ce titre en agriculture autour d'entreprises exploitant des chaudières de forte puissance (par exemple : International Paper à Saillat dans le Limousin, ou Tembec à Tartas en Aquitaine, qui produisent annuellement à elles deux plus de 25 000 tonnes de cendres utilisables) ;
- le second est une **fertilisation en éléments minéraux**, principalement en potassium, calcium et magnésium (et oligo-éléments comme le bore), sous forme de sels dissous ou de carbonates. Mais l'apport d'azote est quant à lui négligeable, et celui de phosphore assez faible (de l'ordre de 1 %) ;
- enfin, les cendres peuvent apparaître comme une **source de pollution**⁵, généralement faible, a fortiori s'agissant de cendres issues de bois « propres », avec des traces de métaux lourds sous forme complexe et donc peu bio-disponibles.

Le principal effet des cendres est donc de faire remonter le pH et le taux de saturation en bases si bien qu'elles sont surtout intéressantes pour des sols acides. Sur ces sols où la matière organique a tendance à

s'accumuler, elles accélèrent l'activité de la microflore du sol (Augusto, 2008), ce qui améliore la minéralisation de la matière organique, et donc la ressource en éléments minéraux assimilables par la plante. Ceci peut expliquer les efforts importants sur les retours de cendres en forêt en Finlande, où il y a beaucoup de forêts sur tourbières. En France, les tourbières sont rares et ont de toute façon un intérêt écologique qui contre-indique

l'apport de cendres. Mais les forêts sont en grande partie installées sur des sols relativement acides (pH entre 4 et 5,5 ; figure 5), et dont beaucoup se sont dégradés du fait de la pollution atmosphérique ou d'anciens usages ; ils pourraient relever de ce type d'amendement, pour remonter le taux de saturation en bases et par voie de conséquence améliorer l'équilibre nutritionnel pour les peuplements forestiers. C'est le cas par exemple des sols acidifiés de l'Est de la France, où l'intérêt de l'amendement calco-magnésien pour améliorer le fonctionnement des sols et restaurer la vitalité de peuplements forestiers dépérissants est déjà bien documenté (RFF 2009-3, n° spécial) : l'utilisation des cendres en substitution du classique amendement Ca-Mg est une hypothèse à envisager (Meiwes, 1995).

Au-delà de l'effet sur le pH, **l'effet de fertilisation** ne s'adresserait guère aujourd'hui qu'aux zones carencées en potassium, calcium et phosphore. Mais c'est **une option de gestion de la fertilité des sols** à envisager dans l'hypothèse où la demande accrue

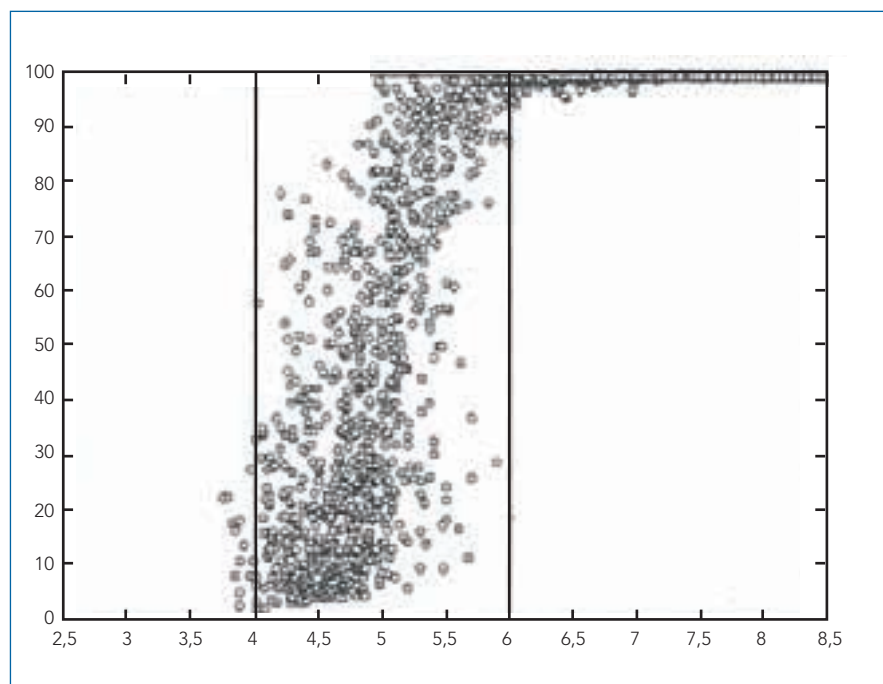


Fig. 5 : répartition des pH et taux de saturation des forêts françaises vues à travers les placettes du Réseau européen de suivi des dommages forestiers (Source : Badeau, 1998)

⁴ Pour la distinction entre amendement et fertilisation, voir Brêthes (2007), dans le numéro 18 de RDVT, p. 58.

⁵ Attention, des polémiques sur la radioactivité potentielle des cendres ont entouré des épandages importants de cendres en milieu agricole. Il ne s'agissait que d'un phénomène de cumulation d'une radioactivité au départ « naturelle », concentrée par le phénomène de combustion, et cumulé avec des épandages importants et répétés.

de bois énergie conduirait à accentuer les prélèvements de menus bois. Techniquement, les éléments que l'on restitue au sol doivent être assimilables par les plantes ; or, selon la température de combustion et donc leur forme plus ou moins oxydée, les éléments sont plus ou moins bio-disponibles. En général le potassium est le plus disponible (avec le soufre et le sodium) sous forme de sels facilement solubles, puis le magnésium, le calcium et enfin le phosphore. Les exportations minérales correspondantes pourraient donc être en partie compensées par les retours de cendres, à l'exception de l'azote, volatilisé lors de la combustion et qui ne serait donc pas restitué. Selon les logistiques de récolte, il faudrait alors envisager un complément en azote ou prendre des précautions pour éviter l'exportation des feuilles et des aiguilles, dont les teneurs en azote sont les plus fortes. Ce raisonnement est à réserver aux zones identifiées à enjeu de production de biomasse et ne s'applique pas aux milieux (hyper)acidiphiles dûment reconnus pour leur biodiversité remarquable et à conserver en tant que tels.

Enfin le **risque de pollution**, qui focalise le plus souvent les débats sur les cendres, peut être aisément maîtrisé sous deux conditions : **n'utiliser que des cendres de bois sans adjuvant**, c'est-à-dire issues de chaudières alimentées uniquement en plaquettes forestières, connexes, bois bruts, menus bois) (Demeyer 2001) et **assurer la traçabilité** à long terme des épandages (raisonner les apports en fonction de la composition des cendres et du sol en ETM, archiver efficacement leur date et localisation précise). En caricaturant, le retour des cendres sur les sols forestiers d'où vient précisément le bois brûlé ne peut que restituer les principaux éléments minéraux au sol (sans apport supplémentaire de métaux lourds) et maintenir la disponibilité de ces éléments (sauf l'azote). Dans la pratique, ces stratégies d'épandages de cendres se raison-

Retour des cendres de bois en forêt : quels enjeux pour la biodiversité ?

Rappelons tout d'abord que l'hypothèse du retour des cendres en forêt concerne les secteurs de récolte de bois énergie, et que les zones à fort intérêt écologique en sont donc exclues. Les liens entre la biomasse et la biodiversité forestière, ainsi que les effets attendus d'un accroissement des exportations de bois-énergie ont été largement discutés dans le rapport Bio2 (Landmann et al., 2009) ; nous n'y revenons pas ici. Enfin, les impacts environnementaux des épandages de cendres ont fait l'objet d'une synthèse (Pitman, 2006) dont nous proposons ici de traduire les éléments essentiels relatifs aux conséquences d'épandages de cendres sur la biodiversité.

Sur la végétation accompagnatrice, l'effet dominant d'un apport de cendres est la conséquence d'une amélioration de la fertilité des milieux ; la plupart des études a conclu à une augmentation de la richesse spécifique (particulièrement en espèces nitrophiles), qui en cascade, limite le développement d'espèces très dominantes. Les études concernant les bryophytes montrent une assez bonne résistance (sensibilité marquée uniquement pour des forts apports) et très bonne résilience (retour à l'état d'avant épandage dans les 5-10 ans) de ce compartiment. Mais c'est surtout sur la diversité et le fonctionnement du compartiment endogé (= vivant dans le sol) que des effets sont attendus. Les rares études tendent à montrer que l'apport de cendres favorise l'activité microbienne (accroissement de la fixation d'azote, et de la dégradation de la cellulose), mais n'a pas d'impact sur les populations de vers et d'enchytréides (qui assurent la minéralisation de la matière organique). Les champignons du sol, et particulièrement les mycorhizes ressortent comme les grands gagnants de l'apport de cendres : augmentation en quantité, en diversité et en capacité à coloniser les racines.

Retenons que l'effet de l'apport de cendres sur la biodiversité résulte principalement du mécanisme de restauration de la fertilité. Les études restent cependant rares, majoritairement réalisées dans les contextes scandinaves et n'envisagent pas les conséquences en cascade sur d'autres groupes taxonomiques. Les recherches associées aux effets des apports de cendres peuvent donc être nourries des connaissances et expérimentations de fertilisation déjà existantes, à suivre sur le long terme pour apporter des réponses relatives à la résistance et la résilience des communautés forestières.

nant à plus large échelle, il n'y a pas d'équivalence directe ; on peut même imaginer que des forêts très acidifiées et fragilisées reçoivent des cendres supplémentaires issues de zones fertiles et peu sensibles.

Une utilisation très limitée des cendres de bois en France

Cependant, les cendres de chauffage restent actuellement très peu utilisées en France du fait notamment d'une réglementation compliquée (voir encadré), mais aussi de difficultés logistiques. Elles ne sont pas du tout utilisées sur sols forestiers sauf en expérimentation pour la recherche.

La réglementation actuelle, complexe et incohérente

D'un point de vue réglementaire, ces cendres peuvent être regardées comme des produits ou comme des résidus. Si on envisage les cendres comme un produit (commercial) de type engrais ou amendement, ce produit doit être homologué ou normé avant commercialisation (pour utilisation en forêt comme ailleurs), ce qui est le plus souvent difficile avec les cendres. Leur composition très variable se prête mal à l'exigence de stabilité du produit et leur quantité ne justifie pas toujours le coût de l'homologation (les étapes : caractérisation du produit, constance de composition, efficacité, innocuité, auto contrôle et

surveillance de routine). Dans tous les cas, cette voie paraît totalement inaccessible pour les plus petites chaufferies.

En tant que résidus, les utilisations possibles dépendent de la puissance de l'installation. Pour les plus petites chaufferies (< 2 MW environ 82 % des unités pour 30 % des cendres produites, figure 6), elles doivent être évacuées en centre de traitement des déchets non dangereux. Pour les chaufferies les plus puissantes (> 20 MW, 1 % des unités pour 44 % des cendres produites), elles peuvent faire l'objet d'un plan d'épandage sur terrains agricoles, en fonction de leur composition et des types de sols et moyennant autorisation préfectorale (mêmes conditions très restrictives que pour les boues d'épuration). Entre les deux (17 % des unités pour 26 % des cendres produites), il y a une ambiguïté réglementaire qui ne permet pas l'épandage. Dans certaines régions cependant, la profession s'organise, avec l'accord tacite des services de l'État, pour utiliser en agriculture les cendres de ces chaufferies « moyennes ». Pour mémoire, les cendres des chaufferies de plus de 2 MW peuvent être valorisées en entrant par exemple dans la fabrication de composts (qui eux-mêmes doivent répondre aux normes sur les amendements organiques), mais ce n'est pas le type d'usage qui nous intéresse dans cet article.

Dans tous les cas l'épandage des cendres est interdit de fait sur sols forestiers, sauf exceptionnellement à titre expérimental (voir l'encadré sur la recherche), ce qui invite à une analyse plus poussée du contexte structurel et réglementaire liant bois énergie et fertilité des sols. La volonté affichée par les politiques publiques d'augmenter la part des énergies renouvelables accroît considérablement la pression sur les sols forestiers pour satisfaire la demande en bois énergie. Pour la filière forestière, c'est une opportunité de valoriser des bois dédaignés jusqu'ici,

mais qui conduit, compte tenu du « gisement » concerné et de la logistique nécessaire (pour limiter le coût d'exploitation d'un produit à faible valeur) à augmenter les prélèvements minéraux sur des stations souvent déjà pauvres. L'un des enjeux de gestion durable pour ces milieux est donc de maintenir leur fertilité en assurant un retour de matière minérale au sol en quantité suffisante. Or la réglementation actuelle interdit que ce retour se fasse par la restitution des cendres résultant de la combustion de leur bois. Comme, en revanche, elle encourage (même si c'est encore laborieux) l'épandage de ces cendres dans les sols agricoles, on peut dire qu'elle organise un réel transfert de fertilité des sols forestiers déjà pauvres vers les sols agricoles.

Un produit délicat à manipuler et un manque d'organisation logistique en France

En plus des complications réglementaires, la manipulation des cendres sous foyer soulève aussi des difficultés. Tout d'abord, les cendres brutes peuvent se trouver sous forme sèche (extraction par voie sèche, souvent pour de petites et moyennes chaufferies, par exemple celles des collectivités) ou forme humide (extraction par voie humide, en général pour les unités de plus grande puissance, souvent les chaufferies industrielles).

Or les cendres sèches génèrent à la manipulation un nuage de poussière nocif pour la santé (port d'un masque obligatoire) et compliquent la logistique. De plus, leur volatilité ne permet guère de garantir un épandage homogène. Cependant, il est également délicat de les humidifier pour faciliter leur manipulation, car elles forment alors des agglomérats et prennent en bloc rapidement comme du béton. Les pays scandinaves ont développé une technique de granulation sur cendres sèches humidifiées ou cendres humides (parfois en mélange avec des boues papetières pour compléter l'apport nutritif avec de la ma-

tière organique et de l'azote). En plus de leur grande facilité de manipulation, ces granulés ont l'avantage de se décomposer lentement, ce qui permet de limiter le risque de lessivage des éléments minéraux ainsi que l'effet alcalin sur la végétation, et d'assurer un apport progressif au sol. Ce type de conditionnement n'est pour l'instant pas développé en France et des tests mériteraient d'être coordonnés.

La pratique actuelle en France est donc de stocker les cendres sous forme sèche et de ne les humidifier qu'au moment de l'épandage ou, lorsqu'elles sont extraites par voie humide, de les utiliser rapidement avec cependant des inconvénients : difficulté à réaliser un épandage homogène (formation d'agglomérats), stabilité insuffisante de la cendre mise en œuvre de cette manière (risque de lessivage, effet court terme). Ces produits peuvent être

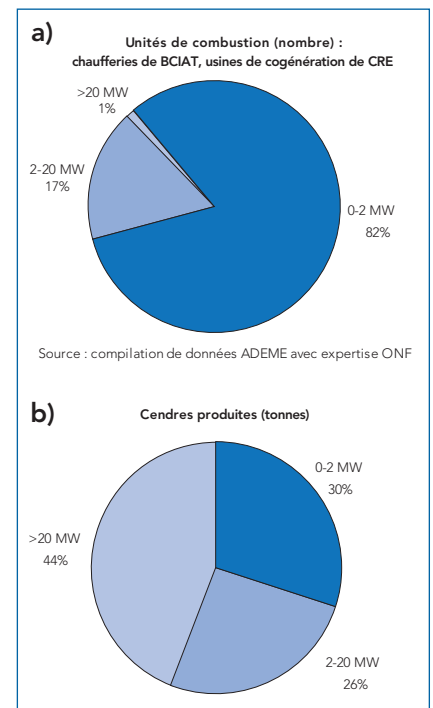


Fig. 6 : répartition en 2011, par catégories d'installation et pour les seules unités ne brûlant que du bois pur, a) des unités de combustion installées en France et b) des cendres produites
Bois pur = plaquettes forestières et produits bois non adjuvants

répartis sur le site par des entreprises spécialisées, comme elles le font avec des amendements organiques ou calco-magnésiens. Cette solution a l'avantage d'un coût limité par rapport au surcoût de granulation, mais demande une vigilance importante de toute la chaîne logistique et un matériel adapté permettant notamment de limiter les poussières lors de la manipulation du produit (transport, stockage) et de l'épandage. Il arrive souvent que des cendres humides soient stockées en extérieur et s'agglomèrent, auquel cas il faut les broyer avant épandage. Pour l'organisation, il faut rajouter que certaines unités, comme les chaufferies collectives, ne produisent des cendres qu'en période de chauffage tandis que, à l'autre bout de la chaîne, les épandages se concentrent à l'automne et au printemps. L'enjeu est donc d'adapter la production à l'utilisation, en limitant le temps de stockage et en assurant une logistique aussi légère que possible car elle ne peut pas être rentabilisée sur l'année entière.

Ensuite les cendres peuvent être enfouies ou non, mais dans le cas des petits agglomérats, l'enfouissement accélère encore l'apport au sol. Par ailleurs l'enfouissement demande un investissement supplémentaire qui ne se justifie pas techniquement mais qui peut être pourtant exigé par les pouvoirs publics lors des demandes d'autorisation.

Une position très différente de nos voisins sur ce retour des cendres en forêt

Depuis plus de 10 ans, les pays voisins, particulièrement les pays scandinaves, l'Autriche et l'Allemagne mènent des recherches importantes sur les épandages de cendres en forêt. Un indicateur marquant de ces travaux a été le projet Européen RecAsh de 2003 à 2006 (pour «Regular Recycling of Wood Ash to Prevent Waste Production»). Piloté par les suédois, avec une participation forte des finlandais, ce projet a permis de

Que fait la recherche en France ?

Premières expérimentations françaises réalisées par FCBA en Limousin puis en Aquitaine

Les premières expérimentations en France sur des sols forestiers ont été faites par FCBA, qui avait suivi les avancées du programme européen RecAsh. En 1998, FCBA a installé une première expérimentation en Limousin avec des cendres de boues de papeterie de l'usine de Saillat, appliquées à des taillis de châtaignier. Une remontée sensible des niveaux de Ca, K, Mg et P avait été observée deux ans après épandage sur le premier horizon mais sans effet sur le peuplement. L'épandage s'était fait en juin avec du matériel agricole (épandeur à fumier avec hérissons verticaux). Malgré la saison, aucun effet de brûlures n'avait été constaté sur la végétation (voir Gautry 2001).

Ensuite en 2011, FCBA a mis en place avec l'INRA une seconde expérimentation en Aquitaine dans le cadre du projet aquitain "Sylvogène". Sur une parcelle de pin maritime en Gironde en phase de récolte finale, plusieurs niveaux d'exploitation ont été appliqués (tiges seulement, tiges et souches, tiges et branches ou arbre entier), puis ont été croisées plusieurs modalités de reconstitution du peuplement de pin maritime : témoin sans apport, fertilisation phosphorique standard, des cendres de chaudière biomasse à raison de 5 tonnes/ha ou enfin fertilisation phosphorique complétée de manière optimisée en K sur la base du calcul des exportations. Les flux de minéralomasse (intrants, extrants) liés aux récoltes et aux fertilisations ont été quantifiés pour les différentes modalités expérimentales. Un suivi est effectué sur l'évolution de la fertilité du sol, la qualité des eaux souterraines, la croissance des arbres ainsi que la végétation accompagnatrice.

Une expérimentation prévue par le département R&D ONF : le projet "ICIF"

(Itinéraires de Cultures Intensives en Forêt pour la production de biomasse sur sols acides.)

Ce projet de R&D est engagé par l'ONF pour explorer sans a priori les demandes et besoins futurs par rapport à la ressource ligneuse et pour préparer des réponses et des savoir-faire en conséquence. A partir d'un bilan de l'état de l'art sur l'installation de cultures dédiées de biomasse en forêt (à la fois pour les itinéraires techniques et pour la gestion de la fertilité des sols), une expérimentation va être mise en place en hiver 2012/2013 pour tester la faisabilité et suivre la durabilité, d'itinéraires de cultures intensives en contexte de basse fertilité (sols acides du nord-est). Les quelques itinéraires expérimentaux qui seront testés sont des scénarios exploratoires : 16 itinéraires dédiés et semi-dédiés pour douglas, épicéa, *Cupressocyparis leylandii*, saule et robinier, combinés à trois modalités de gestion de la fertilité : aucun apport, amendement calco-magnésien ou apport de cendres de chaufferie bois. Le site d'expérimentation choisi se situe dans les Ardennes primaires en FD du Francbois Bryas sur un plateau à 400 m d'altitude. Le sol est acide (pH 4,3), limono-argileux, hydromorphe à plus de 60 cm de profondeur. En parallèle des bilans économiques seront conduits et une approche socio-économique permettra de tenir compte des réponses des acteurs locaux face à une demande accrue en biomasse énergie.

Épandage expérimental de cendres en forêt sur une plantation de 2 ans de pin maritime en Gironde



FCBA, 2011

Le contexte réglementaire français... inadapté

Le retour au sol de matières fertilisantes est encadré en France par les articles L255-1 à L255-11 du code rural. L'article L255-1 définit les matières fertilisantes comme « les engrais, les amendements et, d'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols. ». Les cendres de chaufferies bois (cendres sous foyer exclusivement) répondent à cette définition puisqu'elles amènent des éléments minéraux indispensables à la nutrition (potasse et phosphore) et ont une valeur neutralisante (apport de calcium).

L'article L255-2 soumet à homologation (ou, à défaut, autorisation provisoire de vente - APV) toute mise sur le marché, importation ou distribution même à titre gratuit de ces matières fertilisantes, mais il en dispense :

- les produits conformes à une norme (NF U) rendue d'application obligatoire (ce qui est le cas des normes concernant réellement ou potentiellement les cendres),
- les produits mis en marché selon une directive communautaire qui ne prévoit pas l'homologation ou l'APV (engrais CE),
- les « rejets, dépôts, déchets ou résidus dont [...] l'épandage sur des terrains agricoles est réglementé, cas par cas » (plans d'épandage autorisés par arrêté préfectoral), au titre de la loi sur l'eau ou sur les installations classées (ICPE),
- (pour mémoire) les « produits organiques bruts d'origine naturelle [...], livrés en l'état ou mélangés entre eux, lorsqu'ils sont obtenus à partir de matières naturelles sans traitements chimiques, qu'ils constituent des sous produits d'une exploitation agricole ou d'un établissement non agricole d'élevage et sont cédés à titre gratuit ou onéreux directement par l'exploitant ». Ce dernier cas ne concerne pas les cendres.

La réglementation prévoit donc plusieurs voies d'utilisation, qui répondent à deux logiques principales, selon que la « matière fertilisante » est envisagée comme un produit (une production) en soi ou comme le résidu d'un processus industriel. Dans la logique produit, l'accès au marché (même pour une distribution à titre gratuit) ne peut se faire que par voie d'homologation/APV, normalisation ou en application de directives européennes. La logique résidu renvoie aux dispositions des plans d'épandage prévus par le régime des installations classées (ICPE).

On se limite ici à la réglementation concernant le retour au sol des cendres en tant que telles et non comme composant possible d'un produit complexe (mélanges, co-compostage, etc.).

La logique produit permet d'utiliser les cendres, dûment conditionnées, comme les autres produits du commerce, mais elle est difficile à mettre en œuvre dans le contexte normatif actuel. Les cendres de bois ne figurent pas dans la liste des matières premières acceptées par la norme NF U 44-001 sur les amendements minéraux basiques. Inversement, la norme sur les engrais (NFU 42-001) spécifie une utilisation possible des cendres de végétaux, mais les teneurs en phosphore (P₂O₅) et en potasse (K₂O) des cendres de bois atteignent rarement les valeurs minimales requises par cette norme ; en outre, la normalisation suppose une stabilité dans la composition du produit qui n'est pas toujours compatible avec le mode de production des cendres dans les chaufferies bois. En l'absence d'une norme adaptée, le gestionnaire peut en principe recourir à l'homologation (comme amendement basique ou engrais). La demande doit prouver, selon des critères bien définis, « l'efficacité de son produit et son innocuité à l'égard de l'homme, des animaux et de leur environ-

nement » : procédure lourde, coûteuse, inenvisageable pour de faible(s) quantité(s) de cendres.

La logique résidu est plus accessible aux exploitants de chaufferies mais la possibilité d'épandage n'est explicitement prévue que sur sols agricoles (comme le rappelle l'article L255-2 du code rural). En conséquence, l'épandage en forêt est exclu ; il ne peut éventuellement être autorisé que dans un cadre expérimental. Les chaufferies bois sont des installations de combustion inscrites à la rubrique 2910 de la nomenclature ICPE, : 2910 A pour la combustion de biomasse non adjuvantée et 2910 B pour la combustion de biomasse faiblement adjuvantée (produits bois additionnés de colle ou peinture, à l'exclusion des déchets dangereux comme les bois traités). Seul le cas des chaufferies 2910 A (cendres « propres ») est examiné ici. Elles relèvent de régimes différents selon la puissance thermique de l'installation :

- en-dessous de 2 MW, elles ne sont pas soumises à la réglementation ICPE, et leurs cendres sont à considérer comme des déchets ménagers, sans possibilité d'épandage ;
- au-delà de 20 MW, ce sont des installations autorisées, régies par un arrêté du 23 juillet 2010 ;
- entre 2 et 20 MW, ce sont des installations déclarées, régies par un arrêté du 25 juillet 1997.

Or les arrêtés diffèrent sur le devenir des cendres, indépendamment de toute considération sur leur qualité ou leur innocuité. Pour les chaufferies déclarées, de loin les plus nombreuses, l'arrêté du 25 juillet 1997 dit à l'article 5.8 que « l'épandage des eaux résiduaires, des boues et des déchets est interdit », en assimilant implicitement les cendres aux déchets ; mais il ajoute à l'article 7.1 que « toutes les dispositions doivent être prises pour limiter les quantités de déchets produits, notamment en effectuant toutes les opérations de valorisation possibles. ». Ces deux approches opposées induisent un vide réglementaire important. Pour les chaufferies autorisées, en revanche, l'arrêté du 23 juillet 2010 stipule clairement à l'article 21 que « suivant la nature des combustibles et des cendres, les cendres peuvent être valorisées par retour au sol dans le cadre d'un plan d'épandage ».

Reste qu'aucun texte spécifique n'encadre techniquement l'épandage des cendres, de sorte que les autorisations préfectorales de plan d'épandage, pour contrôler l'intérêt agronomique et l'innocuité des cendres, s'appuient sans véritable légitimité sur :

- l'arrêté du 8 janvier 1998 « fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles [...], boues issues du traitement des eaux usées » ;
- l'arrêté du 2 février 1998 « relatif aux [...] émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation ... à l'exclusion d'un certain nombre de cas (art. 1) dont celui des « chaudières, turbines et moteurs relevant de la rubrique 2910 de la nomenclature » !

Mais les textes évoluent. Profitant par exemple de ce que le MEDDTL a entrepris de modifier sur les rejets aériens l'arrêté du 25 juillet 1997 qui régit les chaufferies déclarées, l'ADEME et les organisations professionnelles ont proposé de le modifier aussi sur les cendres de façon à permettre explicitement l'épandage, et selon des dispositions techniques pertinentes. Pour permettre et encadrer le retour des cendres comme amendement en forêt, reste la voie de la normalisation, elle-même sujette à modifications, ou de directives européennes à établir.

proposer des solutions opérationnelles de valorisation des cendres de bois en retour sur sites forestiers, avec l'objectif d'une gestion durable : limitation de la production de « déchets », maintien de la fertilité des sols et de la qualité des eaux en forêt. Au-delà des deux pays scandinaves qui par la suite ont implémenté ces opérations dans leur gestion courante, ce projet a fondé la réflexion sur ces retours de cendres au niveau européen avec la participation de nombreux pays de l'Union aux différents séminaires organisés dans ce projet. Par exemple l'un des résultats de ces travaux a été de revoir les seuils limites des métaux lourds comme le zinc et le cadmium dans un contexte d'apport de cendres de bois sur sol forestier (apport espacé dans le temps, par exemple de l'ordre de la rotation d'un peuplement contrairement aux apports sur sols agricoles et fonction de la composition initiale du sol par rapport à la composition des cendres de bois).

Récemment, Stupak et al. (2011) ont dressé un bilan des choix en matière de bois-énergie dans les labels de gestion durable PEFC ou FSC, avec en particulier la position sur l'épandage de cendres, au niveau mondial. Il en ressort que plusieurs pays européens comme la France refusent l'utilisation d'engrais et de fertilisants en forêt, en particulier dans le but d'augmenter la production. En revanche ces mêmes pays acceptent voire favorisent l'amendement en restauration de sols dégradés ou en compensation de fortes exportations⁶ (hors des zones reconnues pour leur biodiversité exceptionnelle). Certains labels autorisent même spécifiquement le retour de cendres en forêt comme FSC au Danemark, en Suède et en Finlande, ou PEFC en Autriche, Norvège et Suède. En Allemagne, cet épandage est prévu, en revanche il n'est pas mentionné dans beaucoup de labels

PEFC ou FSC dans d'autres pays, sans être pour autant interdit, indiquant un vide réglementaire plus qu'une opposition formelle.

En France, comme nous l'avons vu plus haut, la réglementation exclut de fait l'épandage en forêt (sauf à titre expérimental) puisqu'elle ne l'envisage que sur terrain agricole, où il reste encore fortement limité. Par ailleurs une importante partie des surfaces forestières sont actuellement labellisées PEFC (78 % des forêts publiques, dont ≈ 100 % des forêts domaniales métropolitaines et ≈ 60 % des forêts des collectivités), avec jusqu'ici des exigences variables selon les cahiers des charges régionaux. Le schéma français PEFC vient d'être révisé pour 2012-2016 et le cahier des charges du propriétaire forestier est désormais national ; il préconise (point 3-d), « Pour assurer un bon fonctionnement biologique des sols, [de] ne pas recourir aux engrais et aux fertilisants sauf en cas de nécessité constatée, et [...] autant que possible, avoir recours à des alternatives efficaces autres que l'utilisation d'engrais et de fertilisants de synthèse. » Autrement dit, si ce nouveau schéma affiche des réticences envers la fertilisation, en particulier avec des produits de synthèse, il n'exclut pas l'amendement⁷.

Conclusion

L'objectif de cet article était de faire un tour d'horizon sur l'épandage de cendres en forêt envisagé comme un retour au sol des éléments minéraux exportés par la récolte de bois énergie, dont en particulier les menus bois. Cet épandage apparaît comme **une opportunité réelle de restaurer (sur sols acidifiés) ou maintenir la fertilité des sols forestiers** ; il peut constituer une réponse durable aux attentes du Grenelle de l'Environnement en matière de bois énergie. Nos voisins

scandinaves ont d'ailleurs largement engagé cette pratique sur l'ensemble de leurs forêts en ajoutant, pour les sols carencés, de l'azote (sous forme de boues papetières) aux cendres épandues. D'autres pays voisins comme l'Autriche et l'Allemagne la pratiquent aussi sans que ce soit aussi bien codifié qu'en Scandinavie. Cela n'est pas le cas en France. Quels sont les obstacles à cette pratique ?

Tout d'abord la **réglementation** actuelle n'envisage l'épandage de cendres (comme d'autres résidus d'installations classées) que sur sols agricoles, en excluant de fait les sols forestiers. Pour ces épandages agricoles, il faut en outre des autorisations préfectorales dont la procédure est d'autant plus laborieuse que ses références ignorent les cendres. Pour une valorisation en produits commerciaux homologués ou normés, les procédures d'homologation sont aussi lourdes, coûteuses et de surcroît incertaines pour une matière première dont la composition est assez variable. Cela alourdit considérablement le bilan économique et pénalise cette valorisation « produit ». La réglementation évolue peu à peu, mais ne prévoit pas à ce stade d'élargir la possibilité d'épandage aux sols forestiers. Réfléchir à cette opportunité avec les pouvoirs publics, sur la base des résultats scientifiques actuellement disponibles mais aussi de ceux qui seront apportés par les expérimentations en cours, apparaît donc comme un enjeu important. Les réglementations comme celles des labels FSC et PEFC devraient par ailleurs être plus harmonisées sur ces points entre les différents pays d'Europe.

Dans le cadre de cette valorisation, il faut souligner l'importance de **l'origine du bois** sur la qualité des cendres : s'il semble pertinent de ramener en forêt des cendres de

⁶ Au colloque interne ONF des 7-8 mars 2011, Martin Strittmatter (Directeur forestier du Land de Bade-Wurtemberg), exposait la position de ce grand Land forestier sur les amendements, devenus critère de gestion durable sur ce territoire (indicateur quantitatif : surface annuelle bénéficiant d'amendements calco-magnésiens, avec 4 511 ha en 2009 et une valeur cible pour 2020 de 4 800 ha).

⁷ Pour la distinction entre amendement et fertilisation, voir Brêthes (2007), dans le numéro 18 de RDVT, p. 58



J.-Y. Gautry, FCBA

Visite d'une démonstration suédoise d'épandage de cendres lors d'un colloque du projet RecAsh (2006)

bois propre, il n'est pas envisageable de le faire pour des cendres de bois mélangés, de composition variable et qui dépassent parfois les seuils en certains microéléments. Le travail entrepris par l'ADEME pour suivre les approvisionnements des unités permettra une meilleure traçabilité de ces cendres et sécurisera donc la possibilité de valorisation. Il faut rappeler par ailleurs que la ressource en déchets de bois (bois adjuvantés, déchets non dangereux) est limitée et donc que les nouvelles unités vont de plus en plus se tourner vers un approvisionnement en plaquettes pures. Après la traçabilité sur les cendres, un retour en forêt nécessitera aussi **une forte**

traçabilité en gestion. Il s'agira de suivre les quantités épandues dans le long terme à l'échelle de la gestion forestière afin d'assurer la durabilité environnementale mais aussi économique de l'ensemble du système (sylviculture, travaux, récolte, retour de cendres).

Christine DELEUZE
Christine MICHENEAU
Claudine RICHTER
Vincent BOULANGER
 ONF, département R&D

Yves-Marie GARDETTE
 Chargé de mission bois énergie
 ONF, département production

Alain BRÊTHES
Gwénaëlle GIBAUD
 ONF, département R&D

Laurent AUGUSTO
 UMR TCEM
 INRA Bordeaux

Capucine DUPONT
 CEA Grenoble

Jean-Yves GAUTRY
Jean-Yves FRAYSSE
 FCBA

Caroline RANTIEN
 ADEME

Remerciements

Ce travail bibliographique, ainsi que l'installation du dispositif expérimental ONF dans les Ardennes (voir encadré : que fait la recherche en France ?), bénéficient du double soutien financier de l'ADEME et de OSEO.

Par ailleurs, nous remercions Nicolas Bilot (INRA Nancy), Alain Bailly (FCBA), Alain Bouvet (FCBA) et Noémie Goutal (ONF) pour leur contribution aux réflexions autour de cet article.

Nous remercions également Jérôme Burban, Luc Koch-Malblanc, Laurine Ollivier et Carole Penpoul qui, dans le cadre d'un séminaire de la FIF (La biomasse forestière, 10 décembre 2010), ont réalisé une première approche bibliographique sur cette question.

Bibliographie

ADEME, 2001. Etude de valorisation des cendres de chaufferies bois. Bureau d'Etudes TRIVALOR - Novembre 2001. 91 p.

http://www.ofme.org/bois-energie/documents/Environnement/Valorisation_cendres.pdf

ADEME, 2006. Gestion et valorisation des cendres de chaufferies bois, 10 fiches de synthèse sur les cendres. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=38622&p1=02&p2=08&ref=17597>

ADEME, 2007. Etat de l'art de la réglementation européenne sur la valorisation des déchets de bois et des cendres de bois. Etude réalisée pour l'ADEME par INDDIGO. 32 p.

Augusto L., Bakker M.R., Meredieu C., 2008. Wood ash applications to temperate forest ecosystems—potential benefits and drawbacks. *Plant Soil* 306, 181-198.

Brêthes A., 2007. Restaurer la fertilité et l'activité biologique des sols forestiers dégradés. *Rendez-Vous techniques de l'ONF*, n° 18 pp. 58-64

Demeyer A., 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *BioResources Technology* 77, n 3: 287-295.

Gautry J.Y., 2001. Les cendres de papeterie. Essai de valorisation en forêt. *Forêt Méditerranéenne*, XXII, 2.

Landmann G., Gosselin F., Bonhême I. (coord.), 2009. Bio2, Biomasse et biodiversité forestières. Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les ressources naturelles. Paris, MEEDDM - Ecofor, 210p. (www.gip-ecofor.org)

Meiwes, 1995. Application of lime and wood ash to decrease acidification of forest soils. *Water, Air, & Soil Pollution*, 85: 143-152.

PEFC France, 2012. Schéma français de certification de gestion forestière durable PEFC 2012-2017 : Cahier des charges national pour le propriétaire forestier (annexe 6) validé par AGE 03/01/2012. 5 p.

Pitman R., 2006. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry*, vol. 79 n° 5, pp. 563-588

RecAsh, International Handbook: From Extraction of Forest Fuels to Ash Recycling, 2006

RFF, 2009. Amendement des sols forestiers. Séminaire « Sols forestiers acides : amendements calcaïques et fonctionnement de l'écosystème » - novembre 2007. *Rev. For. Fr.*, vol LXI n° 3, 226 p.

Strittmatter M., 2011. Les attentes de la société : l'exemple du Bade-Wurtemberg. Colloque interne ONF « Produire plus tout en préservant mieux la biodiversité » 7-8 mars 2011, Paris. RDVT, édition interne exceptionnelle, pp. 32-35 (consultable sur intraforêt, n° 023dfe)

Stupak I., Lattimore B., Titus B.D., Tattersall Smith C., 2011. Criteria and indicators for sustainable forest fuel production and harvesting: A review of current standards for sustainable forest management. *Biomass and Bioenergy* Vol. 35, n° 8, pp. 3287–3308

Dossier



Forêts d'Exception

Le label "Forêt d'Exception" voulu par l'ONF a pour objectif de constituer un réseau de forêts de référence en matière de gestion durable du patrimoine forestier, d'en faire des leviers du développement économique local, et d'assurer une mise en valeur des sites emblématiques avec leurs territoires environnants. Lancée en 2007, la démarche s'est construite pas à pas et commence à porter ses fruits.

- p. 30 Forêt d'Exception®, une démarche partagée de gestion des forêts
par Christèle Gernigon et Eric Meignien
- p. 38 Fontainebleau, Forêt d'Exception®, le laboratoire d'une gouvernance renouvelée
par Victor Avenas et Christèle Gernigon
- p. 47 Tronçais, une forêt d'exception
par Pascal Jarret et Alain Macaire

Forêt d'Exception[®], une démarche partagée de gestion des forêts

Alors que se renforcent les attentes en matière économique, environnementale et sociale vis à vis de la forêt, l'Office national des forêts s'est engagé dans la création du label « Forêt d'Exception » qui signe sa vision d'une gestion durable et novatrice des forêts publiques. Les photographies qui accompagnent cette présentation générale de la démarche sont extraites du travail commandé à un photographe indépendant en 2009, qui ne cherche pas à donner une vision idyllique de la forêt mais à illustrer aussi les contraintes, conflits d'usages, interventions contestées...

Dans son projet d'établissement pour la période 2007-2011, l'Office national des forêts s'est engagé à affirmer la politique d'accueil du public en forêts domaniales en constituant notamment, parmi les forêts emblématiques, un réseau de sites démonstratifs et exemplaires. L'exemplarité des sites pressentis est reconnue, à l'issue d'une démarche de développement local qui associe étroitement les élus et les acteurs locaux à l'ONF, par l'attribution d'un label spécifique baptisé *Forêt d'Exception*.

Ce programme est piloté par un Comité national d'orientation où siègent les ministères de tutelle et des personnalités qualifiées. Il est prévu qu'une quinzaine de forêts domaniales soient labellisées au terme de l'application du nouveau contrat d'objectifs et de performance (2012-2016) passé entre l'ONF, ses ministères de tutelle et la Fédération nationale des communes forestières.

Le présent article expose les fondements de la démarche et son avancement au niveau national.

Un réseau national de forêts domaniales exemplaires

Les fonctions environnementales et sociales de la forêt font l'objet d'attentes croissantes ces dernières décennies. Au quotidien, elles doivent se conjuguer avec la fonction de production de bois, dans le cadre de la gestion durable des forêts. Dans les forêts publiques, le gestionnaire se doit d'intégrer de manière exemplaire les attentes du propriétaire (l'État pour les forêts domaniales) et celles, multiformes et parfois contradictoires, de la société. Les critères de gestion ne peuvent plus y être définis à la seule échelle de la propriété forestière, mais doivent être élargis aux niveaux des territoires dans lesquels s'insèrent les espaces forestiers. Concilier les objectifs de développement et de compétitivité de la filière bois, de préservation et de renforcement de la protection de tous les patrimoines, ceux des écosystèmes naturels et forestiers comme ceux de l'histoire et de l'archéologie, conduisent à associer toutes les parties concernées par ces différents volets de la gestion durable et multifonctionnelle des forêts.



La marque Forêt d'Exception

L'année 2011 a vu se concrétiser la création du label Forêt d'Exception avec, en mai, le dépôt par l'ONF de sa marque verbale et visuelle à l'Institut national de la propriété industrielle (INPI) et sa publication officielle le 16 septembre dernier. Pour renforcer sa lisibilité, un logotype est associé au nom Forêt d'Exception



Bercé

ONF/S. Duffard

Les forêts domaniales, souvent d'anciennes forêts royales ou ecclésiastiques, sont le fruit de l'histoire et elles ont été forgées par l'action de l'homme. Ces forêts ont préfiguré, par une gestion multifonctionnelle conciliant de longue date économie, écologie et social, la « gestion durable » devenue référence pour l'exploitation des ressources naturelles depuis la fin des années 1990. Certaines d'entre elles sont aujourd'hui des forêts emblématiques, de renom international, qui sont le symbole de la richesse historique, culturelle et environnementale du patrimoine forestier de la France. L'ONF y mène une politique de mise en valeur ambitieuse, à la hauteur de leur renom, que la démarche *Forêt d'Exception* se propose de souligner, avec à la clef l'attribution d'un signe de reconnaissance spécifique et exigeant : le label *Forêt d'Exception*[®].

L'objectif central est de constituer un réseau de référence en matière de gestion durable du patrimoine forestier, et de faire de ces forêts emblématiques labellisées des leviers du développement économique local, en assurant leur mise en valeur et celle des territoires environnants.

Les valeurs et engagements de Forêt d'Exception

Une charte nationale (voir encadré) donne les fondements de cette politique que l'ONF entend mener en liaison étroite avec les collectivités territoriales et leurs regroupements, comme les Parcs naturels régionaux. Parmi les valeurs de *Forêt d'Exception*, trois sont à souligner : la dimension territoriale avec la gouvernance de la forêt, la dimension sociale avec la politique d'accueil du public, la dimension professionnelle avec la mise en valeur des savoir-faire forestiers.

La dimension territoriale

L'attribution du label *Forêt d'Exception* s'inscrit dans une démarche menée avec les élus et les acteurs locaux, tant au niveau de la concep-

La Charte nationale Forêt d'Exception[®]

- 1- L'Office national des forêts crée un label, identifié par la marque déposée « Forêt d'Exception », destiné à faire connaître et à valoriser le patrimoine forestier dans une démarche d'exemplarité en matière de développement durable. Ce label consacre les valeurs patrimoniales du site, la qualité du projet et sa réalisation.
- 2- La qualification « Forêt d'Exception » repose sur des valeurs affirmées et partagées du patrimoine forestier : biodiversité, paysages, éléments culturels et sylvicoles, patrimoine social. La désignation des sites concernés vise la constitution d'un réseau représentatif de la richesse et de la diversité du patrimoine forestier domanial français.
- 3- La « Forêt d'Exception » constitue un territoire privilégié d'innovation et d'expérimentation pour de nouvelles pratiques d'accueil et de tourisme durable, de gestion des milieux, de gestion sylvicole adaptée aux enjeux. Le transfert d'expériences sur les massifs forestiers « ordinaires » constitue l'un des objectifs.
- 4- La « Forêt d'Exception » veut apporter une réponse adaptée et durable aux attentes et demandes de la société vis à vis de l'espace forestier : attrait paysager, accueil de tous les publics, pédagogie de la nature, lieu de ressourcement...
- 5- La gestion forestière, la production de bois -matériau et énergie renouvelables- font partie du projet et contribuent à sa dimension économique et patrimoniale. L'aménagement forestier, document de référence, en traduit les objectifs et les actions sylvicoles. L'exploitation et les travaux s'effectuent dans le respect des valeurs et usages des lieux.
- 6- Chaque « Forêt d'Exception » fait partie intégrante de territoires plus vastes. Elle s'appuie sur un projet, dont la forêt constitue le cœur et qui prend en compte leurs dimensions et leurs dynamiques. Construite autour d'une vision partagée, elle intègre l'ensemble des fonctions et usages qui s'exercent sur le territoire.
- 7- Les projets de valorisation, établis pour chaque forêt en fonction de sa tonalité propre et des enjeux identifiés, respectent, voire renforcent, le caractère et l'esprit des lieux : la nature des aménagements et des équipements, leur répartition, leur intégration, participent à cet objectif.
- 8- Le pilotage du projet, de la conception à la décision, puis à la réalisation, s'adapte au contexte local. Il s'appuie toujours sur des partenariats et sur une concertation formalisée. Au besoin, des maîtres d'ouvrage différents peuvent être désignés pour la réalisation des opérations prévues.
- 9- Le projet partagé comprend une charte des valeurs, un plan stratégique, un programme d'actions et un plan de financement. Il est reconnu par la signature d'un contrat de projet entre les partenaires. L'ONF contribue pour une part significative aux financements mobilisés.
- 10- Chaque « Forêt d'Exception » bénéficie d'un système de suivi et d'évaluation pour apprécier les actions mises en œuvre, les résultats de la gestion intégrée du site, la qualité de la concertation et du partenariat, ainsi que l'articulation de la forêt avec les territoires.



ONF/S. Dufflard

tion du projet de développement que de sa gouvernance à l'échelle du territoire d'influence de la forêt. L'effort porte sur l'engagement formel des acteurs locaux dans un Comité de pilotage qui réunit les collectivités, les groupes socioprofessionnels, les associations locales et les usagers aux côtés de l'ONF. Ensemble, il s'agit d'établir le diagnostic du territoire forestier, de nouer les partenariats techniques et financiers, et de contractualiser un plan d'actions communes inscrit dans la durée.

La dimension sociale

Les massifs forestiers labellisés feront l'objet d'une attention toute particulière pour accueillir les publics. Avec la rénovation de la politique d'accueil du public dans les forêts domaniales, l'ONF se doit d'être en phase avec les attentes de la société et d'adapter l'organisation de l'accueil à ces attentes. Les programmes et les projets menés dans les *Forêts d'Exception* ont vocation à couvrir une large palette d'actions innovantes, dans le respect des enjeux et des contraintes de chaque site. Citons par exemple : la mise en valeur des sites historiques et culturels, l'organisation de

l'accueil de tous les publics, la mise en valeur touristique et l'offre d'activités de découverte nature.

Ce volet technique ambitieux s'appuie sur les compétences internes de l'ONF, avec les équipes des agences et unités territoriales, et celles des bureaux d'études. L'appel à des prestataires externes est aussi nécessaire, comme pour des travaux d'enquête sociologique ou d'observatoire de la fréquentation.

La dimension professionnelle

Dans cet échantillon d'une quinzaine de forêt parmi les 1500 forêts domaniales, le label souligne l'implication forte de l'ONF et de ses personnels pour gérer et transmettre une forêt dotée d'un patrimoine riche et diversifié. Ce réseau de forêts constitue déjà une vitrine nationale de sites forestiers remarquables pour le développement durable. La volonté d'innovation doit s'y affirmer dans tous les domaines de l'aménagement et de la gestion des sites, au-delà de l'accueil du public, sur la gestion des milieux naturels et la préservation de la biodiversité et aussi sur les modes de sylviculture.

Encore plus qu'ailleurs, il s'agit ici d'expérimenter puis de favoriser les transferts de savoir-faire au bénéfice de toutes les autres forêts publiques. L'ambition est bien que le fruit de ces expériences développées dans le cadre de *Forêt d'Exception*, comme tous les projets bénéficiant du soutien financier du Fonds d'intervention de l'ONF pour l'environnement et l'accueil en forêt domaniale (FEDD) soient mutualisés sur l'ensemble des forêts domaniales.

Un patrimoine exceptionnel et représentatif de la diversité des forêts domaniales

Les critères de sélection

Pour préparer la sélection des sites prévus par le projet d'établissement, la note de service ONF (07-G-1403) de 2007 demandait aux directions territoriales des propositions répondant aux caractéristiques suivantes :

- un **socle patrimonial** témoignant du rapport marqué et continu entre l'homme et la forêt au fil des siècles ;
- une **multifonctionnalité affirmée**, répondant aux diverses fonctions de la forêt - économie, environnement et société ;
- la présence d'une **dynamique locale forte**, avec la capacité de la forêt à s'y inscrire et à faire progresser la réflexion d'aménagement durable du territoire ;
- une **volonté d'innovation** et de progrès techniques dans le domaine de l'aménagement des sites naturels.

À partir de ces propositions, et d'après l'avis du comité national d'orientation, le Directeur général de l'ONF a validé en 2008 une première liste de 17 forêts pour les engager officiellement dans la démarche *Forêt d'Exception* (voir figure 1 la carte de situation).

Au-delà des critères précédents, la sélection des forêts a veillé à retenir des forêts représentatives des différents types de territoires métro-



Fig. 1 : carte de situation des 17 forêts sélectionnées

Thème	Caractère dominant	Répartition des 17 forêts sélectionnées
Type de territoire	Rural	12
	Périurbain	6
	Touristique	8
Région biogéographique	Méditerranéen	3
	Littoral	1
	Atlantique	5
	Semi-continental	6
	Montagnard	4
	Outremer	0
Forêt (peuplement dominant)	Chênaie	3
	Hêtraie	2
	Chênaie hêtraie	5
	Yeuse	1
	Mixte	2
	Pinède	3
	Mélézin	1
	Pessière	3
	Sapinière	4
	Autre thème (fonction particulière)	Pastoralisme
Protection dunaire		1
RTM		2

Tab. 1 : situation territoriale et caractères dominants des forêts sélectionnées

NB: une forêt peut être concernée par plusieurs caractères dans chaque thème (périurbain et touristique, par exemple)
RTM - Restauration des terrains en montagne

politains : littoral, montagnard, en région méditerranéenne, en situation périurbaine ou rurale (voir tableau 1). Une demande complémentaire est en cours pour l'ajout d'une forêt située en territoire ultramarin, non représenté aujourd'hui.

Comme le tableau 2 le montre, cet échantillon de 17 forêts est déjà largement doté en statuts réglementaires, contractuels ou de reconnaissance des patrimoines naturels et culturels, aussi bien au niveau régional ou national qu'international : Parc national, Parc naturel régional, Forêt de protection, Site classé ou inscrit, Monument historique classé ou inscrit, réseau Natura 2000, Réserve naturelle, Réserve biologique, Réserve de biosphère, Conservatoire génétique... le panel est riche et développé. Plus concrètement, la moitié de ces forêts ont au moins une réserve biologique, 60 % de leur surface appartient au réseau Natura 2000, 18 % de leurs 135 000 hectares

se situent en site classé au titre de la loi de 1930. Ainsi les massifs sélectionnés sont emblématiques au sens où ils cumulent des valeurs reconnues en termes de paysages, d'écologie et d'histoire remarquables.

Quel apport du label Forêt d'Exception ?

Le label *Forêt d'Exception* ne correspond pas à un nouveau statut de protection. Il est en cela comparable, toutes proportions gardées, à l'inscription au Patrimoine mondial de l'Unesco (voir encadré). Quelle reconnaissance ajoute-t-il pour la forêt et les partenaires impliqués ?

De fait, dès lors que chacun s'accorde pour mettre en valeur un patrimoine remarquable au travers d'une telle démarche de labellisation, avec une large concertation à l'appui, la préservation des sites concernés se conçoit comme un projet commun, qui dépasse le cadre habituel des actions de l'ONF

sur ces forêts. Ensemble, les partenaires construisent une vision actualisée, globale et cohérente d'une forêt inscrite dans son territoire. La concertation formelle avec les collectivités territoriales et la société civile autour des projets à conduire apparaît aujourd'hui essentielle pour mieux répondre aux attentes de la société. Aménager et ouvrir au public un espace remarquable et fragile, dans ces sites à haute valeur patrimoniale, fait souvent appel à des techniques nouvelles, parfois coûteuses, pour respecter la fonctionnalité des milieux et les autres usages (exploitation forestière et chasse, par exemple). Ces travaux et animations, il faut bien l'admettre, relèvent d'une ambition qui dépasse largement les moyens que l'ONF peut affecter aux fonctions sociales dans les forêts domaniales. Au-delà de tout statut réglementaire, le simple fait que les acteurs du territoire s'engagent collectivement et durablement constitue une

solide garantie de protection de la forêt et de son patrimoine, avec la mise en place d'actions appropriées bénéficiant d'un financement suivi.

Gouvernance et candidature au label Forêt d'Exception

Les étapes de la gouvernance

Au niveau national, l'objectif du comité d'orientation est d'établir un débat ouvert et soutenu avec l'intervention d'experts extérieurs et qualifiés dans les domaines de la médiation et de la sociologie, de l'aménagement durable des sites et du tourisme, de la valorisation des patrimoines forestiers. Les tutelles des Ministères de l'agriculture et de l'environnement y sont également très présentes.

Au niveau local, une fois la forêt sélectionnée, trois étapes jalonnent son parcours jusqu'au label (tableau 3) : la constitution d'un comité de pilotage, scellée par la signature d'un protocole d'accord, réunissant les acteurs locaux autour d'objectifs communs pour la forêt, puis l'élaboration et l'adoption d'un contrat de projets engageant ces acteurs et leurs partenaires dans un programme innovant et exemplaire pour la forêt, et enfin la présentation d'un dossier de candidature au label.

Le comité de pilotage est un organe de décision présidé par un élu local et animé par l'ONF, en sa qualité de représentant du propriétaire. Dans une recherche d'efficacité, rien n'empêche une instance préexistante d'endosser ce rôle, moyennant quelques adaptations le cas échéant (voir le cas de Fontainebleau). Ce comité fixe les orientations et objectifs propres au site dans le cadre des principes définis par la Charte nationale (cf. encadré). Il a la responsabilité de conduire les différentes étapes de la démarche et, en particulier, de produire et signer le protocole d'accord, d'élaborer le contrat de projet avec les partenaires, de préparer et valider le dossier de candidature au label.

Forêts domaniales (département) Superficie	Territoire et patrimoine	Statut de reconnaissance et/ou de protection présents
L'AIGOUAL (Gard Lozère) 16 110 ha	Cévennes Rural et touristique Montagne Forêt mixte Histoire du RTM Arboretum national Station de ski	Parc national (cœur) Forêt de protection Réserve de biosphère Natura 2000 Réserve biologique intégrale Réserve biologique dirigée
BASSIN D'ARCACHON La Teste, Lège et Garonne (Gironde) 6 270 ha	Aquitaine Périurbain de Bordeaux-Arcachon Littoral atlantique Pinède (Pin Maritime) Protection dunaire Risque incendie	Site classé Natura 2000
BERCÉ (Sarthe) 5390 ha	Maine Anjou Rural Plaine atlantique Chênaie Futaie des Clos remarquable	Natura 2000 Peuplement classé (récolte graines)
BOSCODON (Haute Alpes) 865 ha	Alpes du Sud Rural touristique Haute montagne Sapinière - Mélèzin RTM et érosion active Chartreuse bénédictine	Parc national (aire d'adhésion) Site classé (ponctuel) Monument historique (périmètre) Natura 2000
LES CAMPORELLS (Pyrénées orientales) 4 185 ha	Pyrénées catalanes Rural touristique Montagne Pinède (Pin à crochet) Lacs et pastoralisme Station Grand Tétrás	Parc naturel régional Site classé Natura 2000
GRANDE CHARTREUSE (Isère) 8 465 ha	Dauphiné Rural touristique Montagne Massif des pré-alpes calcaires Sapinière Pastoralisme	Parc naturel régional Site classé Monuments historiques Natura 2000 Réserve naturelle Réserve biologique intégrale Réserve biologique dirigée
COMPIÈGNE (Oise) 14 385 ha	Picardie Périurbain au nord de Paris Plaine et plateau Hêtraie et chênaie Théâtre de l'Histoire Clairière de l'Armistice Les Beaux Monts : allée et chênes	Site classé Monuments historiques Natura 2000 Réserve biologique intégrale (en projet) Réserve biologique dirigée
LE DONON (Bas-Rhin) 5 635 ha	Hautes Vosges Rural Moyenne montagne Hêtraie - sapinière Lieu de recherches scientifiques	Natura 2000 Réserve biologique dirigée Monument historique (périmètre) Peuplement classé (récolte graines)

Tab. 2 : territoires, patrimoines et

Forêts domaniales (département) Superficie	Territoire et patrimoine	Statut de reconnaissance et/ou de protection présents
FONTAINEBLEAU Fontainebleau et Trois Pignons (Seine et Marne) 20 440 ha	Gâtinais Périurbain au sud de Paris Touristique Plaine et plateau Chênaie et milieux ouverts Chaos gréseux Inspiratrice des artistes	Forêt de protection Réserve de biosphère Parc naturel régional Site classé Monument historique (périmètre) Natura 2000 Réserve biologique intégrale Réserve biologique dirigée Arrêtés de protection de biotope Peuplement classé (récolte graines)
LA JOUX et LEVIER (Jura, Doubs) 5 335 ha	Plateaux du Jura Rural et touristique Moyenne montagne Sapinière Notoriété du patrimoine forestier Sapin Président, route des Sapins	Réserve biologique dirigée Arrêté de protection de biotope
MONTAGNE DE REIMS Verzy, Chêne à la Vierge et Hautvillers (Marne) 3 505 ha	Champagne Périurbain de Reims Colline de plaine Chênaie - Hêtraie Hêtres Faux de Verzy	Parc naturel régional Site classé Natura 2000 Réserve biologique dirigée Conservatoire génétique
ROUEN Roumare, Lalonde Rouvray et Forêt Verte (Seine maritime) 10 620 ha	Seine Normande Périurbain de Rouen Plateau et versants Chênaie et hêtraie Archéologie et oppidum Arboretum national	Parc naturel régional Forêt de protection Site classé Monument historique Natura 2000 Réserve biologique dirigée Peuplement classé (récolte graines)
LA SAINTE BAUME (Var) 2 075 ha	Provence Rural et touristique Versant de plateau méditerranéen Yeuse, chênaie pubescente Hêtraie relique unique Grotte de Marie-Madeleine (pèlerinage depuis Moyen-âge)	Site inscrit Monument historique Natura 2000 Réserve biologique dirigée
TRONCAIS (Allier) 10 530 ha	Bourbonnais Rural Plaine bocagère Chênaie remarquable Histoire sylvicole : Colbert	Sites classé et inscrit Natura 2000 Réserve biologique intégrale Réserve biologique dirigée Conservatoire génétique Peuplement classé (récolte graines)
VALIER Bethmale, Seix et Bordes sur Lez (Ariège) 8 900 ha	Pyrénées ariégeoises Rural touristique, transfrontalier Haute montagne Hêtraie Arbres têtards et pastoralisme	Parc naturel régional Natura 2000 Réserve biologique intégrale
LE VAL SUZON (Côte d'or) 2 100 ha	Bourgogne Périurbain de Dijon Vallon encaissé Chênaie hêtraie Héritage de parc pittoresque	Site classé Natura 2000 Réserve naturelle régionale
VERDUN (Meuse) 9 615 ha	Plateau de Meuse Rural et tourisme de mémoire Plateau semi continental Forêt mixte Champ de bataille 14-18 Chiroptères et batraciens	Site classé Natura 2000 Réserve biologique intégrale (projet) Monument historique

statuts des forêts sélectionnées

Du point de vue de l'ONF, chaque projet de *Forêt d'Exception* est porté localement par un chef de projet qui, en étroite relation avec le directeur d'agence et les unités territoriales concernées, suscite la concertation et la création du Comité de pilotage. Il assure le secrétariat du Comité de pilotage, coordonne les réunions et ateliers de travail, ainsi que la rédaction du protocole d'accord et du contrat de projet. Il suit les réalisations et rédige un bilan annuel soumis pour approbation au Comité de pilotage. En interne comme en externe, il est donc l'interlocuteur local privilégié pour la *Forêt d'Exception* considérée.

La candidature au label

L'attribution du label *Forêt d'Exception* consacre un véritable projet au service de l'aménagement du territoire et des acteurs qui y vivent, d'après les éléments du dossier présenté par le comité de pilotage local. Le dossier doit exprimer à la fois les valeurs patrimoniales du massif forestier, la qualité du projet de développement local et l'implication durable des acteurs et des partenaires dans la gestion globale de cette forêt au niveau du territoire.

Ce dossier, de dimension raisonnable (environ 50 pages), offre une vision synthétique du projet local mené sur la forêt. Il constitue le support remis au Comité national d'orientation pour évaluer la candidature et émettre un avis sur l'opportunité de labelliser la forêt, et il affiche des objectifs dont l'atteinte sera évaluée au moment du renouvellement de la demande au bout de 5 ans. Un plan-type formulé en 2011 détaille son contenu, avec notamment un dispositif d'évaluation sur trois niveaux :

- les caractéristiques du territoire et les valeurs patrimoniales de la forêt : diagnostic de l'état du territoire et de sa dynamique d'évolution ; mise en évidence des grands enjeux au regard des différents rôles de la forêt ;

Étapes Actions concrètes correspondantes
<p>Sélection des forêts éligibles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propositions des directions territoriales • Validation de la liste des forêts présélectionnées en Comité national d'orientation
<p>Lancement et mise en œuvre du projet sur une forêt candidate</p> <ul style="list-style-type: none"> • Création du Comité de pilotage et Protocole d'accord engageant les acteurs locaux • Contrat de projet élaboré par le Comité de pilotage • Dossier de candidature au label présenté par le Comité de pilotage
<p>Attribution du label à la forêt candidate</p> <p>Sur avis favorable du Comité national d'orientation</p>
<p>Renouvellement du label</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi et évaluation annuelle de la forêt labellisée • Renouvellement par période de 5 ans

Tab. 3 : étapes de la démarche Forêt d'Exception



Rouen

ONF/S. Duffard



Les Camporells

ONF/S. Duffard

Projet	Avancement	Projet	Avancement
Fontainebleau	Label attribué	Bassin d'Arcachon	Protocole d'accord établi
Rouen	Contrat de projet validé	Le Val Suzon	Protocole d'accord établi
Bercé	Contrat de projet rédigé	La Sainte Baume	Protocole d'accord établi
Boscodon	Contrat de projet rédigé	Valier	Protocole d'accord établi
Les Camporells	Protocole d'accord signé	Montagne Reims	Comité de pilotage créé
Verdun	Protocole d'accord signé	Aigoual	Non démarré
Tronçais	Protocole d'accord signé	Le Donon	Non démarré
Grande Chartreuse	Protocole d'accord signé	La Joux - Levier	Non démarré
Compiègne	Protocole d'accord signé		

Tab. 4 : avancement (février 2012) des démarches dans les 17 forêts présélectionnées

Des ponts vers deux réseaux et labels reconnus : Grands sites de France et Patrimoine mondial de l'UNESCO

L'ONF se rapproche du Réseau Grands Sites de France (RGSF), dans le cadre d'une convention signée le 3 octobre 2007. RGSF regroupe les organismes locaux chargés de la gestion des Grands Sites, paysages emblématiques du territoire français, comme la Pointe du Raz, le Pont du Gard, les Gorges du Verdon ou le Cirque de Navacelles. Ce rapprochement aide à la prise en compte des forêts publiques dans les Opérations Grands Sites et bénéficie au développement du concept Forêt d'Exception, grâce à l'appui méthodologique du RGSF et aux échanges d'expériences entre les deux réseaux.

L'ONF adhère depuis un an à ICOMOS-France, association contribuant par sa réflexion et son expertise, à la mise en oeuvre de la Convention du Patrimoine mondial, auprès du gouvernement français et de l'UNESCO. Créée en 1965, ICOMOS-France compte plus de 1000 membres, dont des collectivités territoriales, des professionnels, des entreprises, des organismes de formation et des associations, œuvrant à la préservation, la réhabilitation ou la mise en oeuvre du patrimoine culturel, architectural, urbain et paysager.

Dans la convention de partenariat signée en 2011, ICOMOS-France et l'ONF s'engagent à développer leurs échanges techniques pour une valorisation des patrimoines d'exception au sein des forêts domaniales.



Bassin d'Arcachon

S. Duffard, ONF

- la stratégie territoriale : orientations déterminant les priorités d'actions pour faire face aux enjeux ; adaptation et cohérence du plan d'action engagé ;
- les actions engagées : moyens concrets, techniques, organisationnels et financiers ; état des réalisations nécessaires pour atteindre les résultats attendus par la stratégie.

Après l'obtention du label, les acteurs doivent rester mobilisés pour atteindre les objectifs et respecter les valeurs partagées sur la forêt. Le renouvellement du label au bout de 5 ans consacrera vraiment la qualité et durabilité du projet partenarial.

Conclusion

En terme de gouvernance, *Forêt d'Exception* présente des similitudes avec la démarche adoptée par les Grands sites de France depuis plus de dix ans : projet élaboré par les partenaires locaux et inscrit dans la durée en terme de moyens humains et financiers, et label consacrant à la fois le territoire, le projet et l'engagement durable des acteurs. Une différence notable reste que le label *Forêt d'Exception* s'applique à un territoire forestier domanial, avec un gestionnaire identifié, l'ONF.

Les actions de communication structurent logiquement la politique *Forêt d'Exception*, au niveau local comme au niveau national. Les contacts renouvelés tout au long de l'année avec les collectivités entretiennent leur implication durable, dans les phases de conception comme dans la mise en oeuvre ou l'évaluation du programme d'actions.

Il s'agit aussi de valoriser la démarche aux yeux du public, pour donner une meilleure lisibilité au label au fur et à mesure de son développement dans les forêts. À l'échelle du massif et son territoire d'influence, le label valorise autant la forêt, en terme d'identité et de valeur des lieux, que les acteurs qui participent aux actions, comme par exemple l'association d'usagers

intervenant dans le suivi de l'état des chemins sur Fontainebleau.

Au sein de l'ONF enfin, c'est la dimension laboratoire d'idées et de réalisations techniques qui est à promouvoir, avec l'idée que l'expérience acquise puisse faire école dans les autres forêts domaniales et, au-delà, dans toutes les forêts. Les *Forêts d'Exception* seront également autant de lieux de démonstration du savoir-faire des personnels, des ouvriers forestiers réalisant les chantiers aux chefs de projets animant le dialogue avec nos partenaires.

Support de la gestion et du travail mené au quotidien dans ces forêts, l'aménagement forestier devra parfois s'adapter pour prendre en compte les enjeux établis pour le territoire. Depuis 2009, les Directives nationales d'aménagement et de gestion (DNAG) et le nouveau cadrage sur les aménagements forestiers formalisent l'expression de certains de ces enjeux. Pour assurer la cohérence de la démarche et l'efficacité de la concertation il faudra aussi, lorsque le label concernera un massif regroupant plusieurs forêts domaniales, unifier le document d'aménagement comme à Fontainebleau ou à Rouen.

Forêt d'Exception peut enfin être, par certains aspects, une source de simplification de la gestion, en désamorçant à l'amont les questions et incompréhensions mutuelles, en engageant l'ONF dans un projet fédérateur tissé de dialogues fructueux, en démultipliant l'efficacité et la pertinence de la concertation locale. Le temps imparti à l'animation de la démarche par l'ONF sera alors pleinement justifié.

Christèle GERNIGON

chef de projet Forêt d'Exception et responsable Paysage
ONF – DERN

Éric MEIGNIEN

chef du Département développement durable,
ONF – DERN

Fontainebleau, Forêt d'Exception®, le laboratoire d'une gouvernance renouvelée

« La plus rêvée et la plus scénarisée, la plus règlementée et la plus arpentée, la plus étudiée et la plus protégée, la plus visitée et la plus contemplée, la plus convoitée et la plus disputée, donc la plus menacée et la plus adulée, la forêt de Fontainebleau est décidément une forêt d'exception depuis longtemps. C'est donc naturellement que cette forêt des superlatifs est la première à présenter sa candidature au label Forêt d'Exception. »¹.

Cet article se propose de mettre à la disposition des forestiers les apports du dossier de candidature au label Forêt d'Exception du massif domanial de Fontainebleau, rédigé en 2011 par Victor Avenas, Chef de projet *Fontainebleau, Forêt d'Exception* à l'ONF.

Ce dossier de candidature s'est attaché non seulement à montrer les qualités exceptionnelles de la forêt et de ses projets, mais aussi à analyser son fonctionnement et sa gouvernance sur les années écoulées dont celles du contrat de projets 2009-2011, afin de donner des pistes pour élaborer le prochain contrat de projets en 2012.

Fontainebleau, première forêt labellisée Forêt d'Exception®

Adopté par le comité de pilotage local réuni le 4 novembre 2011, présidé par M. Frédéric Valletoux, maire de la ville de Fontainebleau, le dossier de candidature de Fontainebleau a été étudié le 22 novembre 2011 en Comité national d'orientation et de labellisation présidé par Mme Michèle Prats, vice-présidente d'ICOMOS-France. Sur la base de ce dossier, dont MM. Paul Arnould (ENS Lyon) et Olivier Nougarède (INRA) ont été rapporteurs, le comité national a transmis un avis favorable au directeur général de l'Office national des forêts, pour l'attribution du label Forêt d'Exception.

Par décision du 19 mars 2012, le Directeur général de l'ONF a attribué le label à la forêt de Fontainebleau pour 5 ans.

Une forêt capitale et convoitée

La démarche *Fontainebleau, Forêt d'Exception* porte sur un massif forestier homogène qui regroupe deux forêts domaniales, Trois Pignons et Fontainebleau, aux histoires différentes. Alors que la forêt de Fontainebleau est d'origine royale, depuis le 10^e siècle, celle des Trois Pignons était privée jusqu'à son acquisition progressive entre 1967 et 1983, dans le cadre d'une déclaration d'utilité publique. Ensemble, elles constituent un massif forestier domanial de plus de 20 000 ha, à une soixantaine de kilomètres du centre de Paris.

L'intégrité du massif a cependant souffert de sa proximité avec la métropole parisienne. Ainsi, en plus du réseau routier qui s'est développé progressivement, de nombreuses infrastructures ont fragmenté le massif forestier, en aliénant certaines parties (figure 1). La forêt continue de subir une pression urbaine multiforme et en mutation continue.

Un laboratoire de mesures de protection

Depuis le 19^e siècle, surtout, le massif de Fontainebleau a cristallisé les

attentes de nombreux publics urbains, artistes ou naturalistes, et sa gestion a revêtu un caractère exceptionnel et pionnier, en particulier en matière de régimes de protection. C'est ainsi que dès 1853, Fontainebleau a bénéficié de la première forme internationale de protection de la nature (20 ans avant le premier parc national américain), avec 624 hectares de « réserves artistiques » défendues par les peintres de l'École de Barbizon, mais aussi par les premiers « touristes » emmenés par Claude-François Denecourt (dont nous reparlerons plus loin).

¹ Extrait du dossier de candidature au label Fontainebleau, Forêt d'Exception

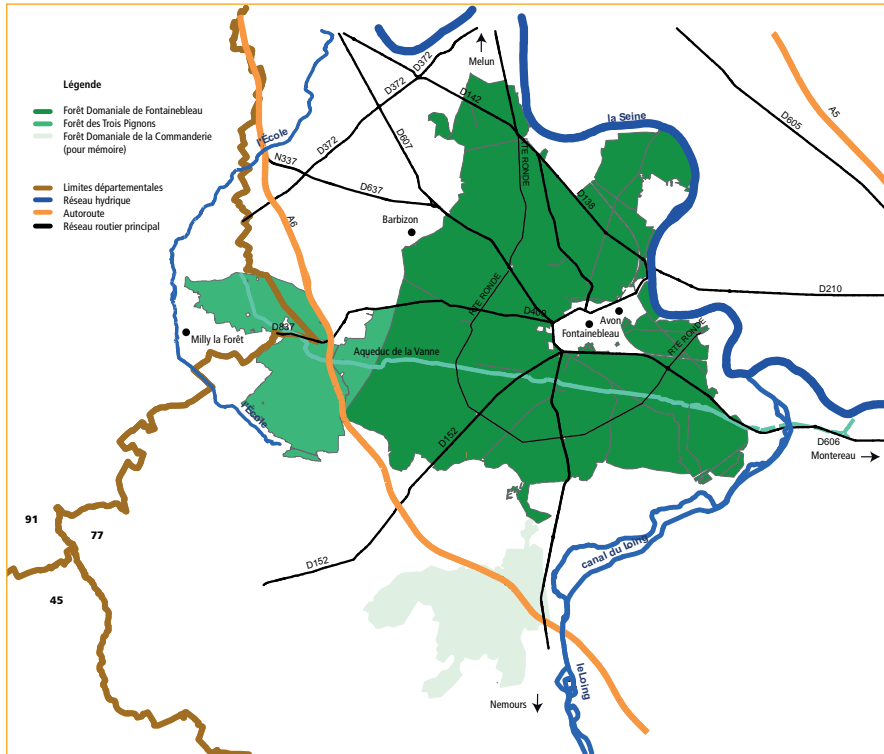


Fig. 1 : carte de situation du massif de Fontainebleau : forêts domaniales de Fontainebleau et Trois Pignons

Progressivement leur ont succédé les premières réserves biologiques, passant alors d'une protection paysagère à une protection naturaliste. Aujourd'hui, le massif de Fontainebleau bénéficie, en plus du régime forestier, d'un panel presque complet des statuts de protection possibles :

- totalité en site classé depuis 1965, sauf la forêt des Trois Pignons qui est en site inscrit ;
- forêt de protection depuis 2002 ;
- espace boisé classé dans le Plan local d'urbanisme de Fontainebleau ;
- intégralement en site Natura 2000, à la fois Zone de Protection Spéciale au titre de la Directive Oiseaux et Zone Spéciale de Conservation au titre de la Directive Habitats ;
- 3 arrêtés préfectoraux de protection de biotope, pris entre 2000 et 2004.

Remue-ménages dans les aménagements forestiers

Durant l'Ancien Régime et jusqu'à la Monarchie de Juillet, la forêt est gérée en taillis sous futaie, selon des règles et cadrages généraux, mais sans

document de gestion détaillé. Le 13 août 1861, un décret impérial fixe le premier aménagement de la forêt de Fontainebleau qui prône le traitement en futaie régulière et, fait nouveau pour l'époque, intègre des préoccupations sociales et paysagères à travers la constitution de 1 094 hectares de réserves artistiques.

Ce volet social et culturel est renforcé dans l'aménagement de 1892, qui porte la superficie des réserves artistiques à 1 514 hectares et préconise le traitement des zones rocheuses, périurbaines ou très fréquentées en futaie jardinée. Le troisième aménagement de la forêt, en 1904, se concentre sur l'aspect social aux dépens du volet économique, diagnostiquant que ce dernier est difficile à maintenir du fait des multiples difficultés de régénération dues à la pauvreté du sol et aux accidents naturels. La série artistique passe à 1 693 hectares et l'objectif de futaie régulière est abandonné au profit d'une futaie irrégulière sous-exploitée. La forêt vieillit et la récolte de bois chute sévèrement.

Avec les nécessités nées de la Seconde Guerre mondiale, l'aménagement devient caduc et la récolte de bois explose pour alimenter Paris en bois de chauffage et de boulangerie. S'en suit une période trouble sans véritable programmation sylvicole et avec des prélèvements anarchiques qui engendrent des mécontentements au sein de la communauté scientifique et des notables locaux. C'est alors qu'est créée, par arrêté ministériel du 23 juillet 1945, la Commission consultative des réserves artistiques et biologiques qui défendra les 1 070 hectares de réserves artistiques et 552 hectares de réserves biologiques, à partir de 1953.

L'objectif du quatrième aménagement dit « de 1970 », établi pour une durée de trente ans, est « d'assurer la régénération des peuplements mûrs et la reconstitution des peuplements dégradés, et de substituer partout où cela est possible le chêne au pin ». Les réserves artistiques disparaissent, la surface des réserves biologiques descend à 416 hectares, la futaie régulière est portée en modèle et de nombreuses techniques de régénération « lourdes » sont testées. La population, de plus en plus intéressée par les aménités forestières, s'insurge principalement contre les grandes coupes rases et les plantations de pins. Dès octobre 1972, l'aménagement est donc modifié. Suite aux vives critiques exprimées dans le « Livre vert » de l'association des Amis de la Forêt de Fontainebleau, en 1989, et au rapport d'une commission scientifique conduite par le Professeur Jean Dorst (nous y reviendrons), l'aménagement de la forêt de Fontainebleau est révisé par anticipation pour la période 1996-2015.

Et ce ne sont ici que les aménagements qui ont abouti : **entre 1853 et 1966, cinq projets d'aménagement sur neuf auront avorté faute de consensus avec les acteurs locaux.** Ils auront tous souligné l'implication de la population locale dans la ges-

tion de la forêt, le caractère exceptionnel des points de vue paysager, touristique et naturaliste du massif, ainsi que le problème toujours présent d'une forêt vieillissante sur son sol ingrat, enjeux à concilier durablement.

⇒ C'est manifestement un enseignement à méditer, et la révision de l'aménagement forestier qui s'engage en 2012 est une excellente occasion de réfléchir à la gestion sylvicole avec le comité de pilotage Fontainebleau, Forêt d'Exception, avec le souci renouvelé de l'adapter au contexte périurbain.

Une exploitation de la forêt, entre source d'agression et mode de conservation

Historiquement, la forêt de Fontainebleau a eu une vocation cynégétique motivant l'installation et l'extension progressive d'un Château royal à Fontainebleau. Elle a été aménagée à ce titre à grand renfort de carrefours en étoile, entre autres. La forêt était également destinée à la production de bois, mais elle était grevée de droits d'affouage, de pacage pour les bovins et les ovins, de panage pour les porcs. Ces droits d'usage, recensés dès 1270, ont perduré jusqu'au début du 20^e siècle. Les riverains venaient donc en forêt en quête d'abord de moyens de subsistance. Enfin, dès le 14^e siècle, les carriers sont arrivés en forêt pour exploiter les bancs de grès, activité qui a connu son apogée vers 1829. Le volet économique a donc été prédominant sur le massif jusqu'au 19^e siècle.

Aujourd'hui, ce volet économique comprend :

- la vente de bois (55.000 m³/an) dont une partie de bois de haute valeur, qualité merrain ;
- la location des chasses (chasse à courre, chasse à tir, licences dirigées etc) ;
- les activités marchandes utilisant le sol forestier (hippodrome, golf...).

De plus, le cadre paysager de la forêt et sa proximité avec Paris attirent les



ONF

Des paysages très prisés des esthètes, promeneurs, sportifs...

photographes, les producteurs de films et les touristes, qui assurent des retombées financières locales (hébergement, restauration, attraction démographique...).

⇒ Si la forêt de Fontainebleau a perduré jusqu'à nos jours, c'est que la population, ses représentants ou ses monarques, y ont trouvé un intérêt renouvelé, notamment économique. Mais pas seulement.

L'îlot de biodiversité francilien choyé de tous

Le massif de Fontainebleau constitue un patrimoine naturel d'une richesse exceptionnelle. Le substrat géologique – du sable fin aux chaos gréseux et aux plateaux calcaires –, le relief – entre monts, vallées et gorges –, et la végétation – entre landes et haute futaie – y créent une grande diversité de paysages et d'écosystèmes. Avec sa position de carrefour biogéographique aux influences croisées atlantique, méditerranéenne et continentale, ils en font l'espace sylvestre le plus riche par sa flore parmi toutes les plaines d'Europe occidentale.

Cette richesse biologique attire, dès le 17^e siècle, des grands natu-

ralistes, comme Tournefort, puis Jussieu, Linné. En 1889, le célèbre botaniste Gaston Bonnier obtient la création, par décret présidentiel, du Laboratoire de Biologie Végétale de Fontainebleau qui accueille les chercheurs de différents pays sur la thématique forestière (et qui perdure aujourd'hui comme station de Biologie Végétale et d'Écologie Forestière, annexe de l'Université PARIS 7).

Au 20^e siècle, deux associations majeures apparaissent : la Société des Amis de la Forêt de Fontainebleau (AFF), créée en 1907 et considérée aujourd'hui comme l'aînée des associations françaises de protection de la nature ; l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing (ANVL) fondée en 1913. Par ailleurs, en 1948, c'est à Fontainebleau qu'est née l'Union Internationale pour la Protection de la Nature (UIPN, transformée aujourd'hui en UICN).

⇒ Depuis le 17^e siècle, Fontainebleau a su garder et développer sa renommée de vaste territoire de nature sacrée et consacrée aux portes de Paris. Aujourd'hui, elle reste une référence pour les botanistes, et en terme de protection de la nature.

La forêt de Fontainebleau, de l'inspiration à l'évasion

Dès le 19^e siècle, l'utilisation de la forêt comme sujet artistique ou comme produit touristique se développe, à la faveur notamment de l'arrivée dans les années 1830 des peintres de l'école de Barbizon (du nom du village riverain dont ils font leur quartier général). Corot, Millet, Rousseau et bien d'autres sortent de leur atelier et découvrent le paysage comme sujet artistique. « *Ils ont choisi pour leur rendez-vous de leur inspiration, les plus vieux arbres des plus vieilles forêts* » (Jules JANIN, 1850), la forêt de Fontainebleau en tête, à la fois mystique et romantique. Leur renommée grandissante au sein du nouveau mouvement paysagiste (qui précède le courant des impressionnistes) attire l'attention de l'intelligentsia parisienne.

En parallèle, dans les années 1830, un ancien soldat, Claude-François Denecourt, ému par les beautés insoupçonnées de cette forêt, va inventer le tourisme vert, avec la première signalétique touristique en forêt (avant le Club vosgien – 1872), la création de 150 kilomètres de sentiers « bleus »² et l'édition de guides pour faire découvrir la forêt et ses paysages pittoresques à ses contemporains. Le premier guide, intitulé « Guide du voyageur dans la forêt de Fontainebleau », sort en 1839. L'arrivée du chemin de fer jusqu'aux portes du massif dès 1850 conforte cet engouement touristique. L'œuvre de Denecourt sera perpétuée par son disciple Charles Colinet et aujourd'hui par les AFF.

En 1853, Rousseau, Millet et Denecourt en tête, obtiennent la protection paysagère de 624 hectares de forêt sous la forme de réserves artistiques. En 1873, leur mouvement se constitue en « Comité de protection artistique de la forêt de Fontainebleau », animé par Denecourt et Co-



ONF

Une des expressions de l'exceptionnelle richesse biologique : les platières

linet et présidé par Millet. Il comprend des sommités comme Corot, Daubigny, Sand et Hugo.

Au 20^e siècle, d'autres activités se développent sur le massif. L'année 1910 voit ainsi la naissance du groupe des rochassiers³ de Fontainebleau. Rapidement, ces « Bleusards » vont investir la forêt en y créant et balisant des circuits d'escalade de difficultés variables. En 1924, est créé le Groupe de Bleu dont certains membres vont marquer l'histoire de l'alpinisme.

D'abord développé par et pour la bourgeoisie parisienne, le tourisme à Fontainebleau s'est ensuite transformé en tourisme de masse (congrès payés en 1936, construction de l'autoroute du sud). Aujourd'hui, la fréquentation du massif se partage entre habitués amoureux de la forêt comme espace de nature et de liberté, population urbaine locale attachée émotionnellement au maintien du paysage considéré comme statique sans intervention humaine, et citadins en « quête d'air pur » et de « déserts de sable » ou des seuls blocs de grès à proximité des parkings. Depuis peu,

il naît en parallèle une envie de valoriser la forêt comme « un produit touristique » auprès d'un public plus large.

⇒ En plus de la multifonctionnalité, ce volet social affiche donc lui-même un caractère multi-usages et multi-aspirations qu'il convient également de gérer, entre volonté de limiter les nouveaux balisages et besoin d'orienter des touristes utilisant difficilement les cartes, entre volonté de conserver des espaces de forêt intacte et demande d'accès libre à la forêt pour y exercer ses activités...

Un laboratoire de gouvernance : l'histoire du difficile partage de la question forestière

« *La forêt de Fontainebleau a le fâcheux privilège d'occuper souvent l'attention publique : trop de conseillers officiels, plus ou moins compétents, se mêlent de ses affaires* ». Cette citation de forestier en 1877 traduit la situation en cours depuis le 19^e siècle sur le difficile partage de la gouvernance entre la population civile et le gestionnaire forestier.

² sentiers 'bleus' : itinéraires tenant leur nom de leur balisage bleu ; ils organisent une découverte de la forêt à partir de tracés et panoramas spectaculaires empruntant des passages rocheux pittoresques

³ Rochassier = adepte de l'escalade des rochers

De nombreux conflits entre l'Administration forestière et les sphères des artistes et des notables locaux ont fait naître (en 1873) le « Comité de protection artistique de la forêt de Fontainebleau », déjà mentionné. Il s'opposait aux coupes de régénération, à l'exploitation de carrières de grès en forêt et dans une moindre mesure à l'enrésinement, qui altèrent les paysages. Une fois ses propositions reprises politiquement par des parlementaires, les forestiers ont intégré cette demande sociétale en traitant des zones touristiques et paysagères en futaie irrégulière et en agrandissant les réserves artistiques.

Au cours du 20^e siècle, un glissement de valeur s'opère, mettant en avant la valeur écologique de la forêt de Fontainebleau, par rapport à ses valeurs récréative et paysagère. En 1913, le naturaliste Henri Dalmon et l'ANVL (dont il est membre) proposent de transformer les parties forestières sauvages en parc national, notion qui à l'époque n'a encore de réalité qu'aux USA. Ils obtiennent l'institution, par décret du 23 juin 1913, d'une « commission consultative de la série artistique » qui orchestre une action internationale devant conduire à un statut de Parc, action que la guerre clôt brutalement. L'idée est relancée en 1948 à

l'occasion de la Conférence Internationale pour la Protection de la Nature qui se tient à Fontainebleau.

En 1989, les AFF consignent leurs doléances dans un « Livre vert » et l'ONF, rejoint en cela par ses détracteurs, sollicite de Jean Dorst, professeur au Muséum, une réflexion scientifique pour éclairer les débats. La commission Dorst aboutit notamment au lancement d'une réflexion sur la gestion des forêts périurbaines (1992), au classement du massif en forêt de protection (2002), et à la rédaction du nouvel aménagement de la forêt domaniale de Fontainebleau (1996) selon des directives plus précautionneuses en termes paysager et naturaliste, en confortant l'ONF dans son rôle de gestionnaire.

Mais comme la question d'un parc national continue d'agiter les esprits, le préfet organise en 1998 un « Groupe de réflexion sur l'avenir de la forêt de Fontainebleau ». Le rapport souligne que « *Si la forêt domaniale et certaines parties du massif bénéficient déjà de plusieurs mesures de protection juridiques, la préservation du massif s'inscrit aujourd'hui dans le cadre d'une politique de développement durable du Pays de Fontainebleau, voire de la Région Ile de France* ». Il indique aussi qu'un

éventuel statut particulier (parc ou autre) devra dans tous les cas « *intégrer les collectivités locales et les usagers dans les organes de décision* » et « *répondre à la demande sociale de loisir d'une forêt périurbaine à haute fréquentation [...] selon des modalités telles que soient réduits au minimum les effets indésirables de l'affluence de ce public* ». Il conclut que le statut de parc national, en l'état (loi du 22 juillet 1960), n'est pas applicable à un territoire périurbain, la constitution d'un coeur central d'un seul tenant étant impossible.

L'idée revient cependant en 2009, après la réforme du statut (2006) et le concept de Parc national forestier de plaine issu du Grenelle de l'Environnement (2007) ; en janvier 2011, le ministre en charge de l'écologie a invité les élus locaux à approfondir la réflexion sur le statut adapté au territoire, le parc national étant une des options. Un Groupement d'intérêt public dédié à ce projet est en cours de création.

⇒ Quoi qu'il en soit, la forêt de Fontainebleau reste très convoitée. Plus que jamais, l'amélioration de la gouvernance est une piste à creuser pour concilier les souhaits de la population civile et les contraintes techniques du gestionnaire.

Fontainebleau, Forêt d'Exception : la gouvernance revivifiée

S'il y a eu par le passé un manque de concertation, avec des comités consultatifs successifs répondant le plus souvent à des circonstances conflictuelles, la situation a beaucoup changé. Aujourd'hui il devient difficile de se repérer dans le foisonnement d'instances de concertation thématiques liées aux règles de gouvernance des différents partenaires ou statuts et chartes dont relève le massif de Fontainebleau. Instances dont les territoires sont différents, en général plus vastes que la forêt mais sans forcément l'inclure en totalité, et dont les

structures animatrices sont diverses comme le montre la figure 2. L'ONF, gestionnaire de la forêt, participe à toutes ces instances, ce qui ne suffit pas pour construire une vision commune de la forêt avec les responsables et les populations de son territoire d'influence. L'enjeu de la démarche *Fontainebleau, Forêt d'Exception* et de son comité de pilotage n'est donc pas d'en « rajouter une couche », mais de parvenir à faire converger l'ensemble sur des principes partagés, concrétisés dans un programme d'actions cohérent.

Le comité de pilotage

Depuis novembre 2007, le comité de pilotage *Fontainebleau, Forêt d'Exception* réunit les principaux partenaires locaux sous la présidence du maire de Fontainebleau – cette commune accueille 95 % de la forêt domaniale de Fontainebleau. Y siègent donc l'État (préfecture de Seine-et-Marne et ONF), les collectivités locales et établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) périphériques à la forêt, ainsi que les représentants des organismes du tourisme

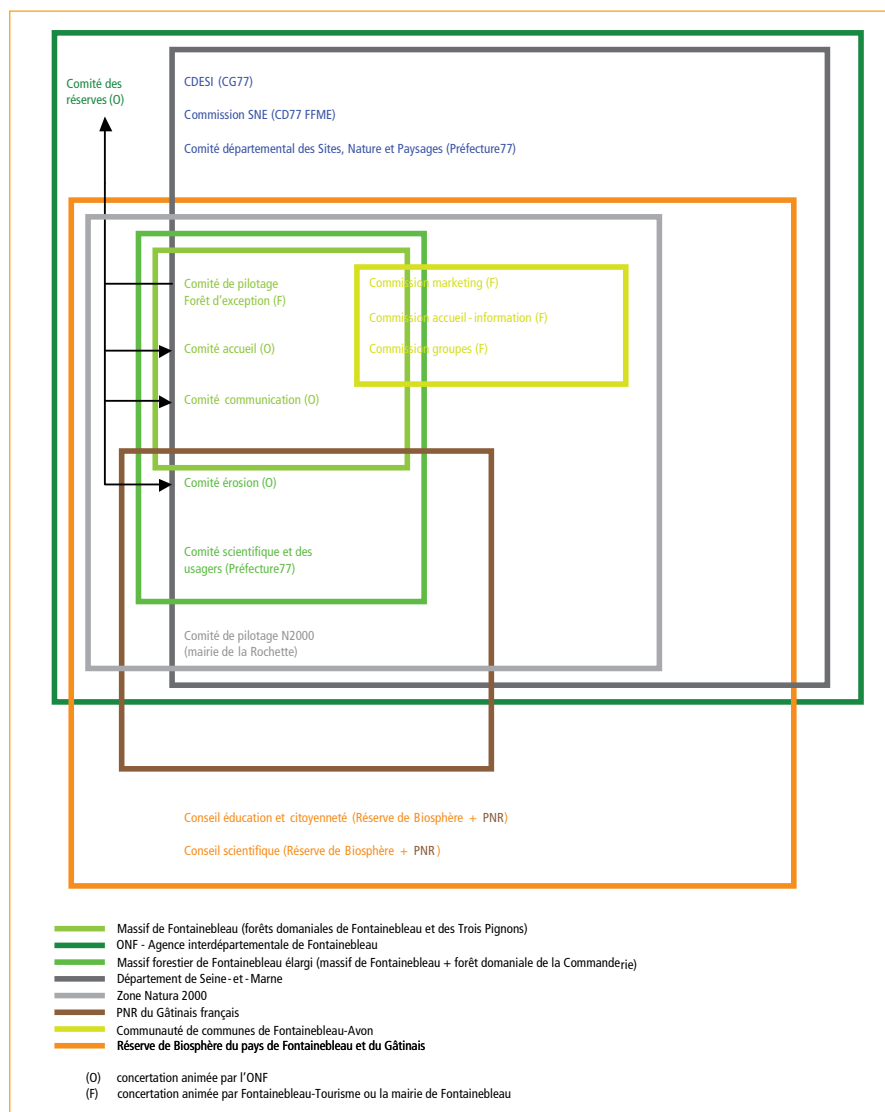


Fig 2 : le comité de pilotage Fontainebleau Forêt d'Exception est au cœur de la gouvernance locale

Le schéma liste les instances de concertation qui existent à différents titres en indiquant, entre parenthèses, la structure qui les préside ou les anime ; la représentation des échelles territoriales par des cadres de couleurs permet de distinguer les différents périmètres d'intervention de ces instances.

et de la protection de la nature. L'ONF en est le co-animateur avec la ville de Fontainebleau, et en assure le secrétariat général. Comme son nom l'indique, c'est une instance de pilotage et de décision. Il s'appuie, pour l'instruction technique des débats et projets, sur quatre comités thématiques dont trois, qui existaient déjà, ont été simplement intégrés dans la démarche tandis que seul le comité communication a été créé spécialement :

■ **Comité accueil** (conflits d'usage, stratégie de gestion de la fréquentation) : hérité du projet INTERREG Progress (2003-2007)⁴, les représentants des usagers y sont particulièrement actifs (activités d'escalade, randonnée, cyclo-tourisme ...) aux côtés des représentants des structures de protection de l'environnement et du tourisme, services de l'État et collectivités du territoire (villes d'Avon et Fontainebleau, communauté de communes et le PNR du Gâtinais français).

■ **Comité érosion** (techniques d'aménagement contre l'érosion sur les secteurs fréquentés) : né en 1995 d'une initiative locale des associations de grimpeurs et de l'ONF, il rassemble les divers représentants du monde sportif et principalement de l'escalade, ainsi que les Amis de la forêt de Fontainebleau et le PNR du Gâtinais français. Il est appelé à évoluer pour intégrer d'autres pratiques, plus actives sur l'érosion (VTT, équitation) et améliorer la synergie avec le comité accueil.

■ **Comité des réserves** (biodiversité et gestion écologique, axé sur les réserves biologiques) : créé en 2001 pour l'ensemble des réserves domaniales de l'agence ONF interdépartementale de Fontainebleau, il réunit des représentants de l'État (DRIEE), de la structure animatrice du site Natura 2000 et d'autres experts pour chaque taxon issus des organismes de protection de l'environnement. Il acte directement des décisions, et il reste à mieux valoriser sa compétence auprès du comité de pilotage.

■ **Comité communication** (information sur la vie de la forêt, promotion du label, éducation...) : il regroupe des chargés de mission des différentes structures siégeant au comité de pilotage, avec au moins deux temps forts par an. À l'automne, il prépare la publication du programme annuel sylvicole et cynégétique ainsi que des travaux écologiques ; en fin d'hiver, il s'agit de diffuser les informations sur les travaux touristiques, prévus et réalisés, le rappel des codes de bonnes pratiques en forêt et le calendrier des événements annuels liés à la forêt.

Après la période de mise en route de la démarche *Fontainebleau, Forêt d'exception*, le rôle décisionnel du comité de pilotage a cédé le pas à des considérations plus techniques (avancement des projets), d'où une certaine démotivation des élus.

⁴ Le projet, *Progress (Promotion and Guidance for Recreation on Ecologically Sensitive Sites)*, conduit en parallèle en forêt de Fontainebleau et dans la New Forest (Angleterre), recherchait les moyens de concilier fréquentation intense et préservation des zones fragiles par une meilleure maîtrise des flux de visiteurs

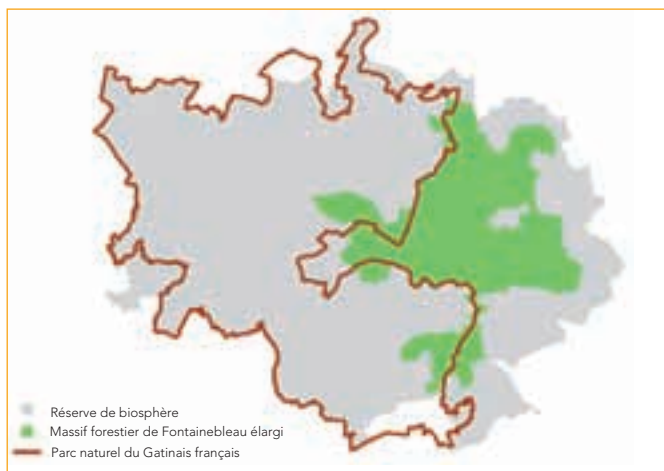


Fig. 3 : simplifier le schéma de gouvernance ; des économies d'échelle à trouver entre les comités thématiques Fontainebleau, Forêt d'exception et ceux de la réserve de biosphère (voir aussi figure 2)

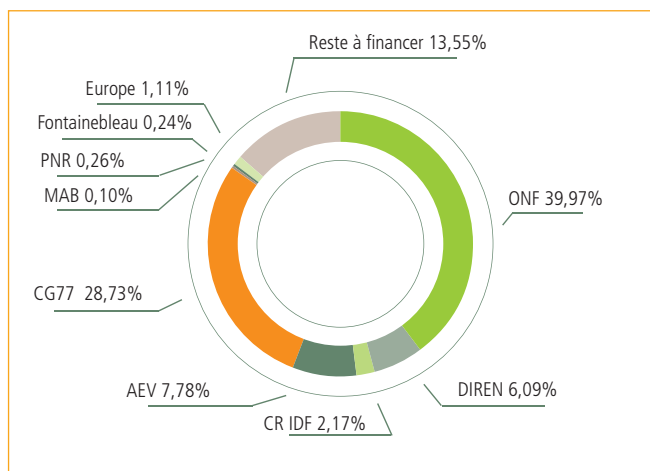


Fig. 4 : plan de financement global du contrat de projets Fontainebleau, Forêt d'Exception (2009-2011)
NB : le « reste à financer » correspond à des financements à boucler en 2012 pour l'achèvement des opérations

Pour éviter cette dérive, il faut veiller à lui soumettre des sujets plus stratégiques que techniques : conception de l'appel à projets pour le prochain contrat de projets, mais aussi des questions transversales dépassant la gestion forestière (comme la gestion des déchets, les problèmes liés à la prostitution, etc.) et la rénovation de la gouvernance. Il s'agit sur ce dernier point d'ajuster la composition et le fonctionnement des comités techniques pour en tirer le meilleur parti à la lumière des quelques années de recul, mais aussi de rendre le schéma général de la gouvernance locale plus lisible et efficace : simplifier les échelles de territoire pour pouvoir mutualiser les comités techniques d'organismes différents œuvrant sur des périmètres équivalents, de façon à mieux couvrir la gamme des thématiques, sans doubler. L'échelle la plus pertinente (à la fois englobante et resserrée sur un territoire cohérent) est celle de la réserve de biosphère (figure 3) ; d'où l'idée d'élargir éventuellement Fontainebleau, Forêt d'exception à la forêt de La Commanderie, qui n'est pas strictement attenante au massif actuel mais relève des mêmes problématiques.

Les moyens d'une gouvernance durable

En 2008, le comité de pilotage a conclu son protocole d'accord et

lancé en même temps un appel à projets pour finaliser dans la foulée le premier contrat de projets Fontainebleau, Forêt d'Exception (2009-2011) et le démarrer dans les meilleures conditions. La candidature au label intervient en 2011 alors que la mise en œuvre du contrat de projets est quasiment terminée, de sorte que le Comité national d'orientation a pu observer des réalisations concrètes illustrant l'élan donné par la démarche Fontainebleau, Forêt d'Exception et les réelles motivations de l'ONF et de ses partenaires.

Le protocole d'accord et le contrat de projets

Le protocole d'accord donne les lignes directrices : il s'articule autour de quatre orientations stratégiques dont il précise les objectifs et le contour sommaire des actions correspondantes :

- 1- promouvoir l'identité du massif de Fontainebleau en s'appuyant sur son patrimoine
- 2- répondre aux besoins multifonctionnels et agir pour une acceptation mutuelle des usages
- 3- favoriser une utilisation du massif assurant la préservation de son patrimoine écologique
- 4- assurer un lien durable entre la forêt, son territoire et ses acteurs

Le contrat de projets prévoit le détail des opérations concrètes, dont la « maîtrise d'ouvrage » n'est pas toujours assurée par l'ONF au niveau local : elle peut être portée par des collectivités partenaires, ou bien reprise au niveau de la Direction de l'ONF, au titre de l'intérêt plus large que représentent certains sujets émergents et plus complexes (comme la trame verte et bleue).

À l'échéance, ce premier contrat de projets peut afficher un taux de réalisation très satisfaisant : 75 %, voire 86 % si on exclut 4 actions qui ont dû être officiellement reportées ou abandonnées, sachant que le « non réalisé » vient surtout d'actions en cours mais non terminées.

Des hommes et un budget pour les ambitions de la multifonctionnalité

La responsabilité du dispositif revient à l'agence ONF interdépartementale de Fontainebleau. Plus précisément, c'est un chef de projet, spécialement désigné au sein de son service Accueil Biodiversité, qui est chargé de l'animation de la démarche, de la coordination des différentes actions et instances de concertation, auxquelles participent les autres chefs de projet du service. La mise en œuvre mobilise aussi les services administratifs et techniques généraux, ainsi que le personnel de terrain : le périmètre de Fontainebleau, Forêt d'Exception cor-

respond précisément à deux unités territoriales. Le temps cumulé de toutes ces contributions représente un total de 9,5 ETP (équivalent temps plein) mobilisés dont 3 seulement, particulièrement impliqués dans la mise en œuvre des actions au quotidien, sont déclarés dans le budget global du contrat de projets. Ceci ne veut pas dire que Forêt d'Exception monopolise l'ensemble de ces ETP, mais plutôt que l'ONF améliore sa façon de gérer la multifonctionnalité, en intégrant de nouvelles pratiques dans sa gestion courante.

Pour que la concertation soit pleinement pertinente et efficace, il est convenu que toute opération intervenant dans le même périmètre que les actions du contrat de projet, qu'elle soit inscrite ou non dans ce contrat, est discutée et suivie par le comité de pilotage *Fontainebleau, Forêt d'Exception*, ainsi que ses comités techniques.

Au niveau financier, il faut retenir que les montants annuels investis dans les opérations d'accueil et de protection de l'environnement sur le massif de Fontainebleau sont respectivement de l'ordre d'un million d'euros et de 180 000 euros, soit un total de 1 180 000 euros. Leur affectation répond à une stratégie rigoureuse de concentration des moyens en des lieux particulièrement attractifs, pour préserver ailleurs des zones de tranquillité, de « nature sauvage ». Ainsi, le massif bénéficie, grâce à la démarche Forêt d'Exception de projets d'envergure sur certains sites et du maintien du confort sur les aires d'accueil, opérations lourdes en termes d'investissement et d'entretien.

Le plan de financement global du contrat de projets (figure 4) montre que :

- l'ONF, conscient des enjeux, investit beaucoup dans ces domaines de l'accueil et de la biodiversité. Cet investissement comprend en partie le temps de personnel correspondant ;

- le Conseil général de Seine-et-Marne est localement le premier partenaire financier, en particulier en termes d'entretien. C'est grâce à cette collectivité et à l'ONF que la forêt reste propre, que les sentiers sont sécurisés et entretenus, qu'une brigade équestre peut faire de la sensibilisation auprès du grand public...

- l'Agence des Espaces verts d'Ile-de-France et le Conseil Régional d'Ile-de-France sont ensemble le second partenaire financier et le premier en terme d'investissement ; ils financent, avec le Conseil général de Seine-et-Marne, des opérations d'envergure répondant à la notoriété de la forêt de Fontainebleau.

- les autres partenaires financent plus modestement, soit selon leurs moyens (associations notamment dont MAB⁵), soit par rapport à leur territoire d'action sur la forêt (collectivités périphériques, Parc naturel régional du Gâtinais français), soit par choix stratégique (DRIEE⁶, Europe).

Au-delà de l'aspect financier, certaines structures, notamment celles qui ont un petit budget, participent aux opérations sous la forme de contributions technique et scientifique ou de mise à disposition de temps de bénévoles.

Vers une forêt observée et objet de suivi continu

Les règles précises et les stratégies validées conjointement donnent une ligne directrice claire qui guide l'ensemble des interventions et dont les instances de concertation contrôlent la bonne mise en œuvre. Mais la dynamique d'échanges humains, de partenariats et de communication née de cette concertation formelle joue aussi un rôle très important dans l'exécution et le suivi des opérations.

Une forêt de sylvains attentionnés

S'il est bien une action effectuée en partenariat, c'est le balisage :

- les « sentiers bleus » et quelques boucles de promenade familiale créées par l'ONF, sont balisés par les AFF ;

- les itinéraires de grande et petite randonnée (GR, PR) et le « Tour du Massif de Fontainebleau » (TMF) sont balisés par le Comité départemental de la randonnée pédestre de Seine-et-Marne ;

- les circuits d'escalade sont balisés par le Comité départemental de la Montagne et de l'Escalade de Seine-et-Marne, ainsi que par l'association de grimpe locale Cosiroc.

Par ailleurs, dans un massif aussi émotionnel que celui de Fontainebleau, l'implication des grimpeurs, des Amis de la Forêt de Fontainebleau ou des habitants des alentours est telle qu'elle permet une remontée d'informations importante. Ainsi, l'ONF est averti, quasiment en temps réel, des dégradations (bornes cassées, dépôt d'ordures...), des besoins localisés d'entretien des sentiers (arbre encroué, fougère envahissante...), ainsi que des problèmes d'érosion. Le plus souvent, ces alertes se font de façon informelle, mais elles ont suscité, pour y répondre efficacement, l'idée d'un nouveau partenariat qui concerne dans un premier temps les sentiers bleus. Il s'agit de cadrer cette démarche spontanée dans un « guide diagnostique » qui fixe :

- le fonctionnement du partenariat de terrain entre les AFF et l'ONF pour assurer un bon diagnostic de l'état des sentiers bleus dans l'objectif d'entretenir et de restaurer *in fine* le patrimoine historique qu'ils représentent ;

- une méthode de diagnostic simple et objective de l'état des sentiers bleus, avec trois niveaux de dégradation explicités par des croquis et cela pour chaque nature de passage en grès (emmarchement, dallage, ravinement, faux chemins...).

Le sentier bleu n° 2 va être prochainement restauré, suite à un diagnostic de ce type réalisé par les AFF.

Porter la voix du forestier : sortir du bois

Le projet *Fontainebleau, Forêt d'Exception* a aussi été l'occasion de mettre en place une communication

⁵ Man and biosphere (coordonnateur de la réserve de biosphère)

⁶ DRIEE Ile-de-France : direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie



ONF

Un exemple des problèmes d'érosion liés à l'intensité de la fréquentation

innovante, intégrative du territoire, comme l'illustrent les deux exemples suivants.

Les initiatives pour sensibiliser le public à la gestion forestière ne sont pas nouvelles, mais elles ont été dynamisées et mieux coordonnées. Afin de **partager la « culture » de la gestion forestière**, les membres du comité de pilotage ont été invités à participer à un martelage le 18 février 2010. Après une présentation des enjeux et des documents encadrant cet acte fondamental, les élus, réceptifs et enthousiasmés, ont pu prendre le marteau pour marquer les arbres à abattre avec les conseils et explications des agents forestiers.

Dans un autre ordre d'idée, l'ONF a signé des **conventions de tourisme durable** avec trois acteurs économiques locaux : un centre équestre, un club d'escalade et deux guides de randonnées VTT. Ces derniers doivent sensibiliser le public à la fragilité du milieu forestier, éviter les zones interdites et respecter une charte de bonnes pratiques. Afin de garder un lien avec eux et de partager les valeurs de gestion forestière durable, ils bénéficient gratuitement de formations dispensées par l'ONF, à raison d'un jour par an. En 2011, les

animateurs du tout nouveau centre d'écotourisme, ouvert au cœur de la forêt par Seine-et-Marne Tourisme, ont aussi été invités à cette formation, devenue à l'occasion un lieu de partage de connaissances sur la forêt entre partenaires très différents et finalement complémentaires : le centre d'écotourisme (premier du genre) invite en effet les visiteurs à ne pas être simplement des « consommateurs » de l'espace naturels mais de véritables acteurs de la gestion durable du territoire en adoptant un comportement écoresponsable.

Conclusion

En terme de gouvernance, le projet Forêt d'Exception est intégrateur à l'échelle du massif forestier : il a vocation à traiter de toutes les facettes de la multifonctionnalité, y compris les volets sylvicole et économique.

À Fontainebleau, en allant au-delà de la juxtaposition des divers comités techniques préexistants, ce projet a permis la création d'un vrai comité de pilotage, rassemblant les pouvoirs publics et les associations sur le massif forestier de Fontainebleau, et faisant le lien entre toutes les thématiques. Ce rôle de coordination de la démarche Forêt d'Exception devrait être

accru dans le prochain contrat de projet à élaborer en 2012.

Pour l'ONF, l'ouverture et l'animation d'un tel lieu de débat permettent de discuter des « problèmes » en amont, à l'échelle du territoire, avec le rôle valorisant de rassembler les acteurs et non plus d'être sous leur pression, de ne plus uniquement subir les événements et enchaînements de réactions passionnelles.

Au niveau national, la communication à développer sur de tels projets renforcera la reconnaissance du label. La récente mise en réseau des chefs de projet Forêt d'Exception, où Fontainebleau peut apparaître comme l'un des chefs de file avec une première mutualisation d'expériences innovantes, devrait être un jour élargie à la mise en réseau des comités de pilotage locaux. Ce serait l'ultime étape d'une gouvernance renouvelée de forêts domaniales engagées aux côtés de la société.

Victor AVENAS

Chef de projet Fontainebleau, Forêt d'Exception
ONF, Agence de Fontainebleau

Christèle GERNIGON

Chef de projet national
ONF, DERN

Bibliographie

Nougarède O., 2010. Les racines des conflits sur le statut du massif forestier bellifontain. In : Un parc national à Fontainebleau : quelle faisabilité ? Association de la réserve de biosphère de Fontainebleau et du Gâtinais Français, mairie d'Avon, 7 avril 2010

Avenas V., 2011. Fontainebleau, Forêt d'Exception : Dossier de candidature au label. ONF, Agence interdépartementale de Fontainebleau

ONF, 2007. Note de service « Création du réseau Forêt patrimoine », NDS 07-G-1403 du 24 mai 2007

Tronçais, une forêt d'exception

Bien moins effervescente que Fontainebleau, la forêt de Tronçais est aussi dans son genre un modèle. Posément installée dans son territoire, offerte à la contemplation et aux loisirs comme à l'observation scientifique, c'est surtout à l'histoire exceptionnelle de sa gestion forestière qu'elle doit son prestige actuel. C'est pourquoi cet article parle essentiellement... de sylviculture et d'aménagement ! Tronçais incarne dans ce domaine l'ancienneté, la continuité mais aussi les évolutions qui ont forgé, hier comme aujourd'hui, des savoir-faire exemplaires.

La forêt domaniale de Tronçais bénéficie d'un rayonnement exceptionnel parmi les forêts françaises, qu'elle doit en particulier à l'ancienneté de sa gestion en futaie et à la réputation de ses chênes. Mondialement connue pour la qualité de son bois pour la fabrication des tonneaux, elle est aussi célèbre dans les milieux naturalistes et scientifiques pour la richesse de sa biodiversité.

Par sa valeur emblématique et son étendue (10 534 ha), elle joue aussi un rôle important dans le développement local. Les étangs domaniaux, qui couvrent environ 130 ha, ajoutent à son attrait non seulement pour de nombreux pêcheurs mais aussi pour un public bien plus large. La fréquentation est importante, à titre individuel ou collectif : promenades pédestres, cyclistes ou équestres, et découverte du patrimoine naturel et culturel. Car la forêt recèle aussi des vestiges archéologiques, notamment une centaine de sites d'occupation gallo-romaine, parmi lesquels certains font l'objet de fouilles.

Afin de concilier la diversité des enjeux et attentes concernant ce massif, une Charte forestière de territoire a été signée en 2008, manifestant la volonté des élus et associations de



ONF/Agence SIGMA

travailler ensemble. Dans cette perspective, la démarche *Tronçais, Forêt d'Exception* se propose de poursuivre et développer le travail de concertation autour de la forêt domaniale de Tronçais, selon un objectif que le protocole d'accord, signé en janvier 2012, énonce ainsi : « préserver, développer et mettre en valeur le patrimoine naturel, culturel et historique du site, tout en permettant la poursuite et le développement d'une production de bois de qualité, conformément à l'aménagement en vigueur ». Car c'est bien la gestion forestière pra-

tiquée au cours des siècles derniers qui en fait une forêt d'exception, et qu'il convient de poursuivre en tenant compte de l'évolution du contexte économique, social et environnemental.

Tronçais : une longue tradition de gestion forestière ...

On attribue couramment à Colbert l'origine du renouveau de la gestion forestière à Tronçais. Il est vrai que c'est sous son impulsion que la forêt a été bornée pour la mettre à l'abri

des abus des riverains, comme toutes les forêts royales de l'époque. Mais suite à cette période de « Réformation » imposée par les besoins en bois de marine, la forêt a été parcourue en 50 ans par les coupes de « tire et aire » classiques de l'ancien régime. Il s'agissait de coupes rases de proche en proche avec réserve de baliveaux (semenciers) selon les dispositions de l'ordonnance royale sur les Eaux et Forêts, de 1669 soit 10 arbres réservés par arpent. Ces coupes se sont achevées en 1735. On peut imaginer le paysage forestier de 1735, vingt semenciers par ha dominant un recrû où se mêlent semis et rejets de chênes âgés de 1 à 50 ans, sans compter les landes à molinie ou à bruyère !

La forêt est exsangue à l'issue de cette période, et il a fallu rester quasiment 40 ans sans exploitation car il n'y avait plus de peuplements exploitables. Les exploitations reprennent en 1779, 6 900 ha étant traités en taillis-sous-futaie à la rotation de 50 ans, ramenée à 40 ans en 1788 pour répondre aux besoins en bois de chauffage des forges de Tronçais. Au cœur de la forêt, entre « Sologne et Marmande » un ensemble de 3700 ha appelé la Réserve est épargné par cette exploitation pour y laisser venir un peuplement de haute futaie.

Une forêt héritière de la sylviculture de l'École Forestière de Nancy

Le premier aménagement en futaie régulière date de 1835 en intégrant tout naturellement la Réserve, qui a de fait quelque 100 ans d'avance dans ce mode de traitement ; il engage les premières régénérations dans ces peuplements encore bien jeunes à l'époque, par semis ou par plantation (environ 900 ha de landes en 1832 selon le rapport de Joseph Louis de Buffévent, inspecteur des forêts).

Les aménagements successifs ont programmé leur renouvellement progressif sur 175 ans, dans des peuplements de plus en plus gros dont



Futaie Colbert, le chêne Saint Louis

la futaie Colbert constitue le dernier vestige (voir l'encadré sur la RB futaie Colbert). Ce sont ces peuplements qui ont marqué l'inconscient collectif et assis la réputation de la forêt de Tronçais qui a produit au cours du siècle dernier des chênes à grain fin de gros diamètres que l'on ne trouvait dans aucune autre chênaie française.

Tronçais doit donc plus son aspect actuel à la sylviculture de l'École Forestière de Nancy qu'à Colbert.

Les peuplements qui ont assuré la réputation de la forêt ne subsistent

plus qu'à l'état de lambeaux sénescents dans la réserve biologique dirigée de la futaie Colbert. Mais contrairement aux idées reçues, il n'y a jamais eu autant qu'actuellement de vieux bois et des classes d'âge aussi bien réparties suite à cette longue période de conversion en futaie régulière.

Une grande continuité d'aménagement

Ce qui fait la grandeur de Tronçais est cette gestion continue en futaie régulière depuis 1835. C'est une œuvre exceptionnelle d'aménagiste,

L'aménagement de 1835 et l'École forestière de Nancy

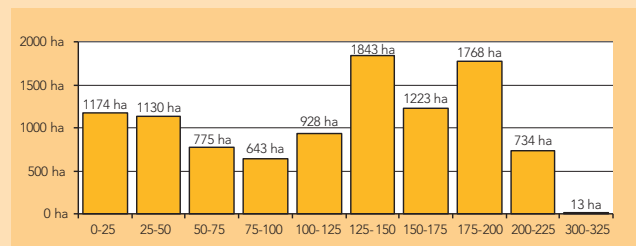
L'avant-projet d'aménagement de Buffévent fut corrigé par Bernard Lorentz et présenté par ce dernier, le 3 avril 1835, au conseil d'administration de la Direction générale des Forêts, dont il était alors un des quatre administrateurs. Le rapport de présentation de Lorentz, auquel participa Adolphe Parade, alors sous directeur de l'École forestière de Nancy, est lui-même un véritable aménagement. C'est à partir de ce rapport que fut prise l'ordonnance d'aménagement de la forêt domaniale de Tronçais signée le 24 avril 1835.

Bernard Lorentz (1775-1865) fut le premier directeur de l'École forestière de Nancy. Chargé des cours d'aménagement et de sylviculture, il y enseigna le traitement en futaie par la méthode du réensemencement naturel et des éclaircies qu'il avait découverte lorsqu'il était en poste dans la conservation de Mayence.

Adolphe Parade (1802-1864) fut le troisième directeur de l'École forestière de Nancy. Il publia, en collaboration avec B. Lorentz, le célèbre ouvrage « Cours élémentaire de culture des bois » qui fut la référence unique de la foresterie française jusqu'en 1880.

Tronçais aujourd'hui en chiffres

- Région naturelle : Bocage bourbonnais
- Surface : 10 534 ha
- 442 parcelles (558 sous-parcelles)
- 9 851 ha de futaie régulière de chêne
- 570 ha de futaie régulière de pins
- 100 ha classés en réserve biologique intégrale
- 13 ha classés en réserve biologique dirigée (Futaie Colbert)
- Récolte annuelle de bois : 60 000 m³



Forêt de Tronçais - répartition des classe d'âge en 2001

l'architecte de la forêt, plus que de sylviculteur, le maçon. Et Tronçais garde « une longueur d'avance » sur la majorité des autres chênaies domaniales où la conversion en futaie régulière n'a véritablement été généralisée qu'entre 1850 et 1900.

Cette orientation n'a jamais été remise en cause, et est confirmée dans le dispositif de gestion actuel. Ainsi, les Directives Nationales d'Aménagement et de Gestion (DNAG) validées en 2009 donnent la priorité au traitement en futaie régulière pour la production ligneuse dans les plaines et collines. Elles fixent un objectif de production de bois d'œuvre de qualité pour le chêne sessile dans les stations qui le permettent, avec un diamètre d'exploitabilité d'autant plus élevé que la qualité des bois attendue est bonne (de 50 à 80 cm).

Les Directives Régionales d'Aménagement (DRA) actuellement en cours de consultation dans le domaine plaines et collines d'Auvergne précisent ces DNA. L'équilibre des classes d'âge y est recherché par grands massifs forestiers, ce qui est le cas de Tronçais.

Les diamètres d'exploitabilité sont fixés à 60 cm pour la qualité moyenne, 70 cm pour la très bonne, et exceptionnellement 80 cm pour les meilleures parcelles de Tronçais. Dans les peuplements actuels largement surdensitaires, cela conduit à repousser la récolte finale à un âge bien supérieur à ce qu'on pourrait avoir avec une sylviculture optimale pour obtenir ces diamètres : jusqu'à 250 ans dans les meilleures parcelles de Tronçais plutôt que 180/200 ans.

L'aménagement de Tronçais validé par arrêté ministériel du 18 février 2005 est en totale cohérence avec ces directives.

Une sylviculture en constante évolution

Pour autant, la sylviculture n'est pas restée figée ; elle est même en évolution permanente car nous en savons beaucoup plus que lors des révisions d'aménagement successives de 1835, 1869, 1898, 1928, 1953, 1975, 1994 et même 2001. Jusqu'au milieu du 20^e siècle, l'action du sylviculteur visait essentiellement à éliminer toute concurrence

ligneuse autre que le chêne au stade de la régénération et à récolter très progressivement les arbres de mauvaise qualité ou en perte de vigueur dans des peuplements cultivés très denses. Il s'agissait alors d'une réponse légitime pour reconstituer des forêts ruinées au cours des siècles précédents.

Les enseignements de la recherche sylvicole

Au début du 20^e siècle, on a commencé à s'interroger sur les méthodes qui permettraient d'améliorer la croissance des meilleures tiges. Cela s'est traduit par la mise en place par le Centre National de Recherche Forestière de Nancy d'un réseau de placettes permanentes destinées à suivre la réaction des peuplements à différentes intensités d'éclaircie. À partir de 1925, 31 placettes ont été implantées dont 8 à Tronçais. Ce suivi a permis aux chercheurs de mettre à disposition des gestionnaires des normes de sylvicultures à la fin des années 1970. Parallèlement, il était démontré que la sylviculture gagnait en efficacité en travaillant en permanence au profit des mêmes tiges que l'on conseillait de repérer durablement au sein

des peuplements (arbres objectifs). Ces techniques ont largement été développées à Tronçais par Alain Macaire dans les années 1990.

La recherche sylvicole s'est poursuivie, facilitée par le développement de l'informatique et de la modélisation. On a également pu tirer les enseignements des peuplements bénéficiant d'éclaircies selon les nouvelles normes de sylviculture. Cela a conduit au guide des sylvicultures de la chênaie atlantique (2004) qui constitue la référence actuelle de la sylviculture et dont les principales orientations sont les suivantes :

- une sylviculture plus dynamique des jeunes peuplements pour améliorer leur vitalité, la diversité des essences forestières et l'installation du sous étage, notamment dans l'optique des changements climatiques, et pour produire aussi « plus rapidement » des gros bois sans compromettre les utilisations les plus valorisantes, en particulier en tonnellerie (accroissements réguliers de 2 à 2,5 mm par an) ;
- une réduction de la densité des peuplements adultes pour améliorer la vitalité individuelle des tiges et améliorer leur résistance aux aléas climatiques.

Ce guide de sylviculture s'inscrit dans l'évolution des connaissances : c'est une référence qu'il faudra faire « vivre » au fur et à mesure de l'amélioration des savoirs scientifiques et des retours d'expérience.

Le chêne, le vin et la sylviculture

Les futaies de Tronçais, à grande majorité de chêne sessile (90 %), produisent un bois de couleur jaune paille, homogène et clair, à accroissements fins et réguliers, très estimé pour le placage et surtout pour la tonnellerie. D'ailleurs le bois de Tronçais est réputé pour donner de la futaille de la meilleure qualité depuis au moins le début du 17^e siècle. Aujourd'hui, on sait que la vinification en fût de chêne participe à la composition des arômes du vin ; la typicité organoleptique des vins liée au bois, par rapport aux matériaux inertes, est

unanimement reconnue. Mais y aurait-il des « crus » de chêne ?

Le Groupe d'étude sur l'élevage des vins de Bourgogne en fûts de Chêne a mené, de 1993 à 2000, une expérimentation pour mettre en évidence l'influence de l'origine et de l'essence sur la qualité des merrains utilisés pour les vins élevés en fûts neufs. Elle a confronté les merrains (et fûts) de 12 régions d'approvisionnement dans la vinification de deux crus réputés : un Mercurey rouge premier cru 1998 et un Beaune blanc premier cru 1998. Quarante huit chênes de qualité merrain ont été récoltés à cette fin sur Tronçais (24 chênes sessiles et 24 chênes pédonculés). Cette expérimentation a révélé des différences sensibles entre les chênes sessile et pédonculé et entre les diverses régions de provenance. Le chêne sessile présente un bois moins poreux, moins chargé en tanins et plus riche en molécule de whisky-lactone (arôme de coco ou vanille). Ces travaux ont également démontré, qu'en plus de la régularité des cernes, la largeur des cernes à l'intérieur d'une même espèce est importante, concluant que les merrains à grain fin (accroissement radial de 1,5 à 2,5 mm) conjuguait la pauvreté en tanins à la richesse aromatique.

Aujourd'hui, le travail du forestier façonne les peuplements de manière à pérenniser cette qualité et à justifier la renommée de ce grand massif domanial : sylviculture en futaie régulière, visant à l'obtention de chênes de 70 cm à 80 cm et plus de diamètre avec un bois à grain fin, c'est à dire dans la limite de 2,5 mm d'accroissement moyen annuel sur le rayon, et régulier.

Une prise en compte croissante de la biodiversité

La forêt de Tronçais que nous connaissons aujourd'hui est le résultat d'une gestion humaine essentiellement orientée depuis 1835 vers la production de bois d'œuvre de qualité : on est bien loin de l'état de

« naturalité » que d'aucuns prètent à cette forêt et qui serait maintenant en péril. Bien au contraire, les preuves n'en manquent pas. L'extrême pureté actuelle des peuplements de chêne sessile est en grande partie le résultat de l'élimination des essences d'accompagnement, du dégagement de semis aux coupes d'amélioration. La répartition des peuplements par vastes cantons équiennes témoigne de l'importance des surfaces régénérées sur de courtes périodes, sans souci de continuité des gros bois à cette échelle (méthode des affectations permanentes). Toutes pratiques jugées *a priori* peu favorables à la biodiversité.

Seuls quelques chênes isolés de très haute qualité ont été conservés parmi les plus vigoureux lors des régénérations et constituent un maillage très lâche d'arbres remarquables (25 à ce jour), chacun étant baptisé du nom d'un forestier ou d'un canton de la forêt. Ces monuments de la nature font l'objet d'un suivi sanitaire attentif et sont récoltés avant sénescence. Ils atteignent des prix exceptionnels, et c'est avec émotion qu'un public important assiste à leur abattage.

Des principes à la pratique...

Le concept même de biodiversité ne date que de 1985, et a été précisé et officialisé en 1992 à l'occasion de la conférence de Rio. L'ONF a mis en pratique ces principes dès 1993 par une instruction « biodiversité ». Cette instruction a été révisée en 2010 pour tenir compte du progrès des connaissances et de l'évolution du contexte socio-économique, notamment suite au Grenelle de l'environnement. Dans les grandes lignes, il s'agit :

- de mettre en œuvre des actions ciblées en faveur des espèces ou habitats remarquables ou sensibles ;
- d'intégrer, dans la gestion forestière courante, les diverses composantes de la biodiversité (gènes, espèces, habitats) et les éléments essentiels à son fonctionnement ;

- d'agir en faveur des habitats associés à la forêt et de leurs caractéristiques ;
- dans le contexte du changement climatique, de s'attacher résolument à la conservation de la diversité génétique et aux possibilités de migration des espèces (maintien de continuités écologiques).

Les mesures en faveur des gros et vieux bois ont ici un écho particulier avec la mise en place d'îlots de vieillissement à cycle sylvicole allongé, ici à 300 ans (une cinquantaine d'hectares déjà implantés), l'abandon de toute sylviculture dans le cadre de la réserve biologique intégrale de Nantigny (près de 100 ha) et la gestion en réserve biologique dirigée du peuplement relictuel de la futaie Colbert (voir encadré). On veille à répartir les parcelles à régénérer sur l'ensemble de la forêt de manière à rompre progressivement l'homogénéité des peuplements au niveau du canton forestier et à assurer à cette échelle une continuité des gros bois : le diamètre d'exploitabilité est d'autant plus élevé que le peuplement est de qualité. Mais il faudra plus d'un siècle pour atteindre cet objectif au vu de la répartition actuelle des peuplements, héritage des aménagements par « affectations permanentes ».

Dans les parcelles en amélioration, les arbres morts ou à haute valeur biologique sont conservés (avec un objectif moyen de 3 par ha). Des tentatives ont été réalisées au cours des dernières décennies pour maintenir des « surréserves » de haute qualité au-delà du stade de la régénération. Mais ces arbres maintenus longtemps très denses n'ont pas la vitalité de leurs ancêtres qui avaient connu une autre sylviculture dans leur jeune âge, et cette pratique est maintenant abandonnée. Pour assurer la continuité du bois mort et des gros bois à l'échelle de la parcelle, on s'oriente donc vers le maintien de tiges de moindre valeur maintenues jusqu'à sénescence :



ONF/Benoît Lacombe

Comment rompre l'homogénéité héritée des « affectations permanentes » ?

La réserve biologique de la futaie Colbert : des chênes de 300 ans et plus...

Le nom « Futaie Colbert » s'est imposé dans les années 1970, en hommage au ministre, conservateur des forêts, pour désigner ce qui restait de la « Réserve » instituée en 1779. En 1943, 79 ha de ce peuplement devenu exceptionnel avaient été classés en série artistique. Depuis cette date, seuls y étaient exploités les arbres renversés (chablis) ou dépérissants.

En 1976, il a été décidé d'en régénérer 66 ha, pour cause de début de sénescence (parcelles 231 à 233), et de classer les 13 hectares restants en Réserve Biologique Dirigée (parcelle 234), dont la fonction principale est écologique et scientifique. La dernière coupe définitive de la parcelle 233 a été vendue en 1999.

Un laboratoire vivant

La réserve biologique dirigée de la futaie Colbert reste ce rare et majestueux témoin d'une chênaie très âgée. On sait qu'elle est issue d'une coupe forte pratiquée en 1690-1700 et qui n'avait conservé selon les règles de l'époque qu'une vingtaine d'arbres de 50 ans à l'hectare. Ainsi les arbres ont en moyenne 300 ans, à l'exception de ceux conservés lors de la coupe et qui ont vraisemblablement 50 à (exceptionnellement) 150 ans de plus. Ces arbres très âgés sont donc accompagnés et étudiés jusqu'à une échéance proche de leur mort naturelle. Seuls les arbres devenus dangereux pour le public sont coupés.

Le principal objectif fixé à ce véritable laboratoire vivant, est la conservation d'espèces inféodées aux très vieux bois : insectes xylophages, champignons lignivores, chauve-souris, pics, rapaces... Certaines sont devenues très rares, faute de supports de vie. Ironie de l'histoire ou perpétuation de la célébrité, la renommée de la futaie Colbert s'étend aujourd'hui au niveau national pour les coléoptères rares qu'elle héberge !

Assurer la relève

Actuellement, il n'y a pas plus de quelques dizaines d'hectares de chênaies de plus de 250 ans en France, et seulement dans les forêts domaniales les plus prestigieuses : Tronçais, Bercé, Loches, Compiègne et Rénovaldieu. Mais la part des îlots de vieux bois va progressivement augmenter, puisque l'objectif (Instruction ONF « Biodiversité » de 2009) est d'arriver à 3 % de la surface domaniale en 3 périodes d'aménagement (2 % en vieillissement et 1 % en sénescence). À Tronçais, ils couvriront donc au minimum 300 ha.

Dans le cadre de la démarche « Forêt d'Exception », une des parcelles déjà classées en îlot de vieillissement va être aménagée dans les années à venir à l'intention du public, pour assurer progressivement la relève de la futaie Colbert en tant que témoignage de l'histoire : c'est la futaie Buffévent, du nom de l'inspecteur des forêts ayant officiellement engagé la conversion futaie régulière de la forêt...

un objectif difficile à atteindre sans sacrifice financier important dans des peuplements longuement cultivés au profit des meilleures tiges !

...y compris dans la gestion « banale »

Mais il est d'autres aspects qui restent à développer, notamment la protection des sols lors des débardages. Car le tassement des sols en profondeur peut affecter leur fonctionnement physique, réduire en conséquence leur activité biologique, et nuire à la vitalité des peuplements. Or l'idée est encore trop largement répandue qu'en laissant circuler les engins de débardage un peu partout sur la parcelle on dilue les passages et on évite de créer des ornières qui donnent une mauvaise image du chantier. C'est ignorer que 80 à 90 % du tassement de surface du sol a lieu entre le premier et le troisième passage d'engins : il vaut mieux passer 100 fois au même endroit, qu'une fois à 100 endroits différents. L'installation généralisée de cloisonnements d'exploitation à espacement adapté est donc la meilleure réponse pour gérer la circulation des machines en forêt et préserver la vie du sol, à Tronçais comme ailleurs. Ce qui ne dispense pas, sur sols sensibles, d'avoir à suspendre le débardage en période humide.

Par ailleurs, s'il est important d'assurer la continuité des gros bois et la phase de sénescence, il faut également conserver les phases pionnières et le mélange d'essences au niveau du massif. Cela se fait à l'occasion des ouvertures en régénération, et en ménageant lors des dégagements une part de mélange, y compris avec des essences pionnières comme les bouleaux, trembles, saules... Ce qui suppose, pour pouvoir limiter les interventions au strict nécessaire et les réaliser à un coût supportable, de mettre en place des cheminement (ou cloisonnements sylvicoles) à espacement de l'ordre de 6 m.

La biodiversité connue à Tronçais, en quelques chiffres

- Une flore à haute valeur patrimoniale : l'Osmonde royale, le Dicrane vert, le flûteau nageant
- Une herpétofaune (amphibiens) à haute valeur patrimoniale, avec notamment le crapaud sonneur à ventre jaune et une forte population de salamandre tachetée
- Une avifaune variée : 90 espèces recensées de manière régulière dont 7 espèces nicheuses de rapaces, 7 espèces de picidés et la présence épisodique de la cigogne noire. Les études : rapaces diurnes, engoulement d'Europe, Cigogne noire, inventaire des pics, indices ponctuels d'abondance, suivi des espèces patrimoniales par la méthode des quadrats, et 3 points du suivi STOC.
- Un site majeur pour les chiroptères : 21 espèces dont des populations exceptionnelles de Grand murin et de Murin de Bechstein. Les études : écoutes au détecteur d'ultrasons (300 points d'écoute stratifiés dans l'espace et sur tous les stades forestiers), 70 soirées de capture depuis 2 ans, inventaire et localisation des gîtes diurnes des espèces arboricoles, contrôle des nichoirs en place depuis plus de 10 ans, contrôle des aqueducs en phase hivernale, étude télémétrique de l'habitat de l'Oreillard roux et du Murin de Bechstein (terrains de chasse et gîtes utilisés).
- Site majeur aussi pour les coléoptères : 600 espèces recensées, dont le lucane cerf-volant, le grand capricorne, l'osmoderme, le taupin violacé.

Il est également essentiel de rétablir un bon équilibre forêt gibier. Car les surpopulations d'ongulés, ici il s'agit surtout du cerf, peuvent compromettre le renouvellement des peuplements forestiers et avoir des conséquences néfastes pour la diversité végétale.

Connaître pour mieux gérer

La diversité des stations et des habitats étant un des principaux facteurs de biodiversité en forêt, la grande homogénéité de Tronçais apparaît de ce point de vue comme un facteur limitant, alors que c'est un atout important pour la production forestière. La gestion passée, en peuplement serré, essentiellement orientée vers la production forestière pourrait également avoir eu une influence défavorable sur la biodiversité.

Malgré cela, Tronçais est connu depuis longtemps pour ses richesses floristiques et faunistiques (voir encadré). Mais ces connaissances restent fragmentaires. Cela a conduit à mettre en place un important programme d'études des réseaux na-

turaliste de l'ONF en partenariat avec la LPO, Chauve-Souris Auvergne et Irstea. Les groupes faunistiques ciblés sont représentatifs des enjeux de préservation de la richesse biologique des grands massifs forestiers : avifaune, chiroptères et insectes saproxyliques. Tronçais a été



Étude de la biodiversité

N. Petrel, ONF



ONF/Benoît Lacombat

La forêt, mais aussi ses étangs, entre autres...

choisi comme forêt emblématique de la chênaie atlantique en raison de l'ancienneté de son couvert forestier, et de son histoire sylvicole en futaie régulière, traitement qui a ensuite été généralisé à l'ensemble des forêts domaniales du bassin de production.

Au-delà de la simple connaissance de la biodiversité, cette étude vise à mettre en relation les observations réalisées avec l'état actuel des peuplements et leur gestion passée. Il ne s'agira pas de mettre sous cloche les peuplements forestiers qui sont des habitats d'espèces à haute valeur patrimoniale découvertes lors de cette étude, mais d'essayer de comprendre leurs facteurs de répartition pour orienter la gestion forestière ultérieure, notamment en matière de vieux bois et de bois sénescents. Ces enseignements devraient intéresser l'ensemble de la chênaie atlantique.

Tronçais, une forêt d'exception

Par sa surface, son histoire et son rayonnement, la forêt de Tronçais est l'emblème de la chênaie atlantique. Les recommandations du

Grenelle de l'environnement y prennent tout leur sens : « produire plus, tout en préservant la biodiversité ». On peut maintenant y récolter la production, il n'y a jamais eu autant de gros bois et la biodiversité y fait l'objet d'études approfondies et de mesures appropriées.

Mais cette exemplarité n'est pas qu'une affaire de techniciens ou de politique environnementale. La forêt domaniale de Tronçais, qualifiée parfois de « plus belle chênaie d'Europe », est aussi avec ses étangs et son patrimoine archéologique un des piliers de la politique de développement local du Pays de Tronçais, qui entend bien mettre en valeur ce joyau de son territoire.

Conscient de cet enjeu, l'ONF a lancé en 2003 un audit patrimonial sur les conditions et moyens d'une meilleure gestion pour un développement durable du territoire. Suite à cet audit, les élus de la Communauté de Communes optent pour l'élaboration d'une Charte Forestière qui aboutit le 6 février 2008 et prévoit, dans son programme d'actions, l'obtention du label « Forêt d'Exception ». S'engage alors une réflexion commune sur la valorisation du patrimoine, la nature

des aménagements et des équipements d'accueil du public, leur répartition et leur intégration.

C'est donc sous l'égide du comité de pilotage *Tronçais, Forêt d'Exception* qu'ont été discutés un projet ONF d'amélioration des équipements d'accueil de la forêt domaniale, puis les constats et propositions d'une étude de valorisation (paysages et accueil) diligentée par la DREAL Auvergne. Un schéma d'accueil, dûment concerté avec les collectivités et les associations, est en cours de réalisation pour synthétiser l'ensemble : il identifie clairement les enjeux, les contraintes et le potentiel en forêt mais aussi en périphérie. Objectif : organiser et rationaliser les futurs équipements pour l'agrément des visiteurs et l'intégrité des milieux naturels.

Sans attendre la présentation officielle de ce schéma, ni même la signature du protocole d'accord du comité de pilotage *Tronçais, Forêt d'Exception*, la communauté de communes a souhaité s'engager dès 2011 pour une première étape de (nécessaire) rénovation et nouer avec l'ONF un partenariat pour l'entretien des équipements et pour un programme d'animation. Le premier pas vers la labellisation...

Pascal JARRET

Directeur Forêt

ONF, DT Centre-Ouest – Auvergne-Limousin

Alain MACAIRE

ONF, Inspection générale

Mobiliser du bois en montagne : le défi du câble aérien

Depuis une trentaine d'années, les évolutions socio-économiques de l'exploitation forestière en France ont conduit au délaissement des zones de forte pente et d'une ressource non négligeable- avec, entre autres inconvénients, celui de fragiliser les entreprises locales. Aujourd'hui, la relance du débardage par câble aérien est à la fois une nécessité et un défi, car elle suppose une reconversion technique et logistique des exploitants... et des forestiers pour que l'activité soit viable.

Les forêts de montagne sont difficiles à exploiter pour des raisons évidentes de pente et de contraintes climatiques, mais pas seulement. Les contraintes peuvent aussi être liées à la densité du réseau de desserte (traînes, pistes, routes forestières) ainsi qu'au type de sylviculture, qui détermine entre autres des caractéristiques fondamentales pour la rentabilité ou non de l'exploitation : le volume unitaire moyen et le prélèvement/ha. Par ailleurs, la diminution constante, depuis les années 1950, des effectifs d'entreprises spécialisées dans le débardage par câble aérien ne facilite pas la transmission de compétence. Toutefois sur un certain nombre de ces facteurs, le gestionnaire forestier a une possibilité d'action. Il peut notamment accompagner et soutenir le renouveau de l'exploitation par câble, comme le rappelle cet article.

Le constat des difficultés

En montagne, la pente complique l'abattage et la sortie des bois d'autant plus qu'elle se cumule à d'autres effets : difficultés d'accès et de déplacement des bûcherons, directions possibles d'abattage contraintes par la pente (la mécanisation du bûcheronnage est impossible), sans comp-

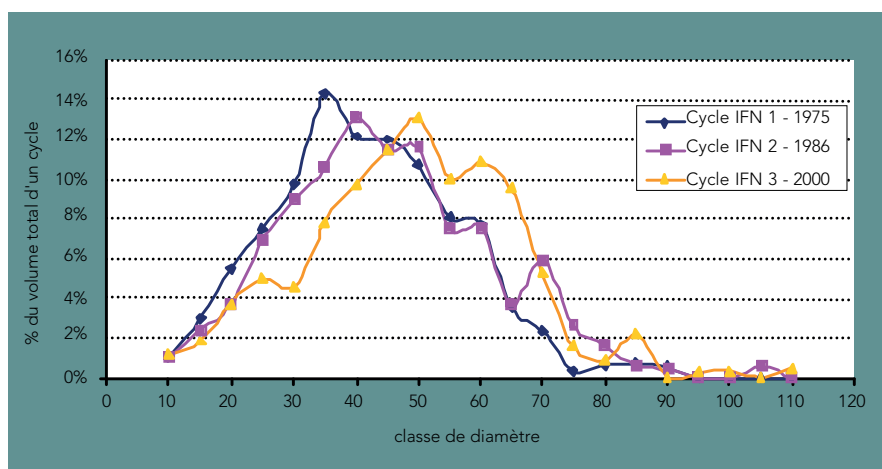


Fig. 1 : évolution des volumes des résineux en Savoie selon les classes de diamètre dans les zones non accessibles au tracteur (Source : Marcinkowski, 2008)

ter le climat qui réduit les périodes d'activités possibles pour les entreprises en altitude.

L'ensemble génère des coûts de mobilisation plus élevés qu'en plaine d'autant plus que la desserte est souvent limitée. Elle est d'ailleurs particulièrement limitée dans les montagnes françaises, en comparaison des pays voisins. Ainsi par exemple en Savoie, la densité de desserte est de 1 km/100 ha pour les routes et 2 km/100 ha pour les pistes alors qu'en montagne autrichienne elle est de 3 km/100 ha pour les routes (il n'y a pratiquement pas de pistes).

Ces difficultés se traduisent dans les caractéristiques dendrométriques des forêts de montagne : les données de l'IFN nous montrent qu'elles sont en train de se capitaliser et que le diamètre moyen des peuplements augmente dans les zones non débusquables par les tracteurs forestiers (c'est le cas par exemple de la Savoie, cf. figure 1). Inversement, dans les zones facilement accessibles, à proximité des routes et des pistes, le capital sur pied est le plus souvent assez proche de l'optimum. Il y a donc un lien très fort entre la desserte et la réalisation de la récolte prévue par les aménagements forestiers.

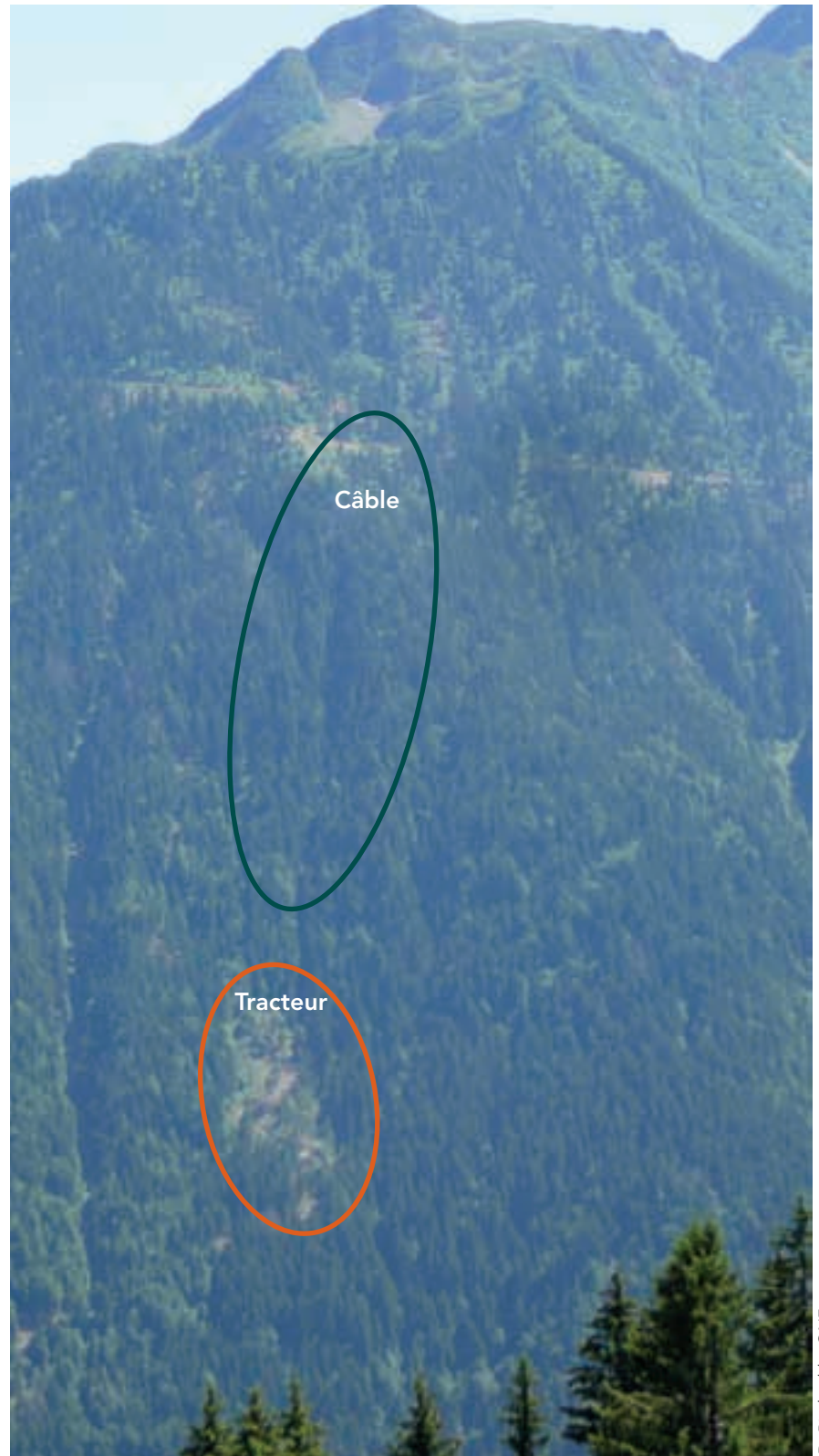
Cependant les méthodes d'exploitation sont en forte évolution. En effet après une période ayant privilégié l'utilisation du couple « tracteur + pistes » et, à la marge, celle de l'hélicoptère (très coûteux et consommateur d'énergie), une relance des techniques de câbles aériens est en cours depuis les années 1995, dynamisée par des innovations techniques importantes.

Rattraper le retard

La France, en tant que grand pays forestier et entre autres de forêts de montagne, accuse un retard certain dans l'emploi de ces techniques de câblage par rapport à nos voisins allemands, autrichiens et suisses. Pourtant le câble répond aux besoins de mobilisation des bois en montagne de manière efficace et sûre. En outre, il n'occasionne que très peu de dégâts au peuplement restant et répond aux attentes environnementales (réduction des dérangements, protection des sols...).

Pour pallier ce retard et rétablir un régime normal d'exploitation des peuplements, un plan câble a vu le jour en région Rhône Alpes ; il s'agit notamment de soutenir, par une offre suffisante et réaliste¹ de « coupes à câble », les entreprises mettant en œuvre ces techniques et développer les compétences internes sur le sujet en collaboration avec nos partenaires de la filière et tout particulièrement les Communes forestières. Ce plan a d'ailleurs donné lieu à une note de service de l'ONF (NDS-10-D-346 du 18 mai 2010) avalisant la démarche et l'étendant à l'ensemble des zones de montagne.

Des objectifs en volume ont été définis par département avec un travail sur la massification des lots qui porte déjà ses fruits, grâce à une meilleure visibilité sur les volumes « dédiés ». Une action d'amélioration du mode de contractualisation des



D. Pischecda, ONF

Un exemple révélateur de la nécessité de bien anticiper et planifier les coupes
Coupes « à tracteur » et « à câble » proches l'une de l'autre sur le versant et dans le temps : pour optimiser l'exploitation de l'ensemble et minimiser les impacts, il aurait fallu grouper ces deux coupes sous le même mode d'exploitation (câble).

¹ Référentiel rigoureux pour la constitution (y compris désignation) des coupes susceptibles de débardage par câble aérien

prestations de câblage a été lancée en 2011 en concertation avec les représentants des ETF. Dans ce cadre aussi, l'ONF et le FCBA ont développé un logiciel permettant d'optimiser l'implantation des lignes de câble sur le terrain (voir article SIMUL-CABLE p. 58).

Le débardage par câble aérien : moderne et moins agressif que le débardage terrestre

Pour rappel, un quart des forêts françaises se situe sur des pentes supérieures à 30 %. Le débardage par câble est une solution de mobilisation envisagée lorsque les techniques traditionnelles (porteur, skidder) ne peuvent être utilisées du fait des difficultés d'accès ou lorsque la réalisation d'une desserte est trop chère, techniquement impossible ou en décalage avec des objectifs de protection de la nature ou d'attente sociétale.

Il y a donc un « créneau » non négligeable pour le câble en régions de montagne pour mobiliser du bois d'une part et mais aussi pour le respect du milieu. En effet, les bois étant semi-trainés ou soulevés, il n'y a pas de tassement de sol et les traînes et pistes forestières ne subissent pas des effets de l'érosion consécutifs aux passages répétés de tracteurs en charge. Ceci dit, le câble nécessite un minimum de desserte structurante, et la desserte montagnarde actuelle n'est pas toujours suffisante ; mais l'ensemble câble + route est moins impactant sur le long terme que le débardage par tracteur sur pistes non structurantes.

Mais il y a encore peu d'entreprises françaises qui réalisent du débardage par câble : à peine une vingtaine fin 2011. La plupart sont équipées de câble mât moderne, les autres de câble long traditionnel. Dans les Alpes (Rhône-Alpes + PACA) on mobilise actuellement environ 50 000 m³/an par câble en fo-



Treuil de câble long

L. Descroix, ONF

rêts domaniales et communales, et environ 15-20 000 m³/an en forêts privées. Des entreprises étrangères (Suisse, Tchèques, Italiennes) viennent régulièrement participer à cette mobilisation, palliant ainsi le manque d'équipe de câblistes français. À l'échelle nationale, c'est environ 80 à 90 000 m³/an qui sont mobilisés de cette façon en Forêts Publiques avec une perspective de potentiel mobilisable d'au moins 150 000 m³/an, selon les hypothèses les plus prudentes.

Pour les années à venir, l'enjeu pour l'ONF est de sécuriser et pérenniser les équipes existantes, et d'accompagner la création et le développement de nouvelles équipes.

Les matériels de débardage par câble et les spécificités de chantier

Les matériels existants sont de deux grands types et peuvent répondre à différentes configurations de chantier.

■ **Le câble long**, pouvant atteindre une longueur de 2000 m. Ce système traditionnel est constitué d'un câble porteur fixé et tendu indépendamment du treuil qui actionne le chariot ; le treuil est toujours posi-

tionné en amont de la ligne et généralement déposé par hélicoptère sur une plateforme bois conçue spécialement pour chaque ligne. L'investissement est modéré (de 160 à 200 k€) mais l'installation de la ligne est longue et le fonctionnement nécessite trois opérateurs, pour des charges de 2,5 à 3 tonnes.

■ **Les câbles mâts**, plus modernes, de conception différente et de portée moins longue. Les mâts sont installés sur des camions (portée d'environ 1200 m), des remorques (portée d'environ 800 m), et parfois sur la prise de force d'un tracteur agricole (portée 500 m). La capacité de charge est généralement de 2,5 à 4 tonnes, mais certains matériels permettent des charges jusqu'à 6 tonnes. L'investissement est important (de 350 000 à 500 000 €) mais l'installation est plus rapide et le fonctionnement ne mobilise que 2 personnes, grâce à l'assistance de la radio commandes et de l'électronique intégrée.

La particularité de ces câbles mât est qu'ils doivent être installés sur une route ou piste forestière carrossable et il faut donc disposer d'un minimum de réseau de desserte. Ils peuvent par contre travailler à la montée, à la descente, ou même à plat.



L. Descroix, ONF

Petit câble mât tchèque
sur tracteur



P Magaud, FCBA

Câble mât ONF sur remorque
dans les Pyrénées



P Magaud, FCBA

Câble mât italien sur camion

Tous ces systèmes de débardage par câble peuvent être associés à un outil de façonnage et de découpe mécanisée bord de piste, les arbres étant alors débardés entiers ce qui facilite et sécurise le travail du bûcheron sur la coupe, tout en permettant si nécessaire la mobilisation d'une biomasse supplémentaire.

L'installation d'une ligne de câble peut prendre entre 0,5 et 2 jours, principalement conditionnée par le nombre de supports intermédiaires nécessaires au fonctionnement du câble. Le positionnement de ces supports (voir article SIMULCABLE p. 58) est déterminé par le relief, la longueur de ligne et la flèche du câble porteur elle-même conditionnée par la tension appliquée au câble porteur et la masse des charges à débarder. Suivant le type de pylône à monter pour passer la rupture de pente sur le profil de la ligne, il est question de 2 heures à une journée de travail.

Des outils pour estimer la faisabilité technique et économique des coupes

Ainsi la particularité du débardage par câble en comparaison des autres systèmes de mobilisation, vient des temps de montage des instal-

lations qui ne sont donc pas des temps productifs et peuvent, suivant les lignes, représenter jusqu'à la moitié du temps de présence (sur les notions de temps productifs et improductifs, voir Pischedda, 2010 ; RDVT n° 29-30). Cette situation a donc nécessairement un effet direct sur le coût de revient et les prix de prestation.

La détermination de ce prix, qui dépend de la productivité prévisionnelle du chantier, est un facteur clé de la pérennité de l'entreprise. Or la productivité ne dépend pas seulement du volume, mais aussi (surtout) de la faisabilité technique. Pour proposer des coupes exploitables, le gestionnaire doit donc estimer leur faisabilité technique et économique et envisager au mieux les spécificités et le détail de l'implantation des lignes.

Pour cela, des outils ont été récemment développés. Le WSL (Institut fédéral suisse de recherches sur la forêt, la neige et le paysage) a mis au point un logiciel, HeProMo, pour estimer le coût du débardage en fonction notamment du nombre de pylônes (supports) nécessaires. Ainsi, l'installation d'un support qui prend une demi-journée engendre un coût moyen d'environ 2 €/m³ de bois débardé. D'où l'intérêt de bien opti-

miser le positionnement de la ligne pour réduire leur nombre. De leur côté, l'ONF et FCBA proposent un outil de simulation et d'optimisation de l'implantation des lignes de câble, appelé SIMULCABLE.

Didier PISCHEDDA
ONF – DTCB

Laurent DESCROIX
Jacques FAY
ONF – pôle R&D Chambéry

Paul MAGAUD
FCBA station Sud-Est

Bibliographie

Marcinkowski J., 2008. Évaluation des potentialités de récoltes de bois, segmentées en fonction de l'accessibilité, dans les forêts publiques du département de la Savoie (73) - Utilisation des inventaires de l'IFN (1975 à 2000). Mémoire de fin d'études AgroParisTech - Formation des ingénieurs forestiers

Pischedda D., 2010. L'étude des chantiers en exploitation forestière : Méthodes et protocoles. RenDez-Vous techniques de l'ONF n° 29-30, pp. 60-70

SIMULCABLE, un logiciel d'optimisation pour l'implantation des lignes de câble aérien

Le temps de montage des lignes est un facteur clé de la productivité des chantiers d'exploitation par câble, et la moindre erreur d'implantation des supports peut avoir des conséquences financières désastreuses. L'outil SIMULCABLE mis au point par l'ONF et le FCBA permet de fiabiliser les projets d'exploitation et d'en maîtriser les coûts.

Le débardage par câble aérien présente la particularité, par rapport aux autres systèmes d'exploitation, d'avoir des temps de montage de lignes importants (voir article sur le câble, p. 54). Ces temps peuvent représenter suivant les lignes jusqu'à la moitié du temps de présence, avec un effet direct sur le prix de la prestation.

De façon générale, l'implantation des lignes est étudiée de façon à optimiser à la fois :

- le débusquage des coupes à réaliser (prélèvement des bois au maximum à 40 m de part et d'autre de la ligne de câble) ;
- l'arrivée sur une place de dépôt fonctionnelle ;
- les possibilités d'ancrages du câble et des haubans des pylônes (supports) ;
- le profil en long, pour limiter le nombre de pylônes (figures 1 et 2).

Le nombre de pylônes a un impact non négligeable sur la productivité et donc le coût de revient.

Les câblistes fonctionnent aujourd'hui souvent à l'expérience et de manière empirique pour évaluer le nombre de pylônes nécessaires et les positionner sur le terrain. Or l'exercice est parfois incertain et les erreurs coûtent cher.

Si certaines situations sont assez évidentes, il est des cas où les configurations de terrain peuvent être très trompeuses, et les options d'implantation à l'instinct peuvent s'avérer hasardeuses, même lorsqu'elles sont faites par des professionnels aguerris. Encore récemment, plusieurs lignes de câble ont dû être modifiées à plusieurs reprises dans le positionnement de pylônes ou des points de départ du porteur en raison de mauvaises appréciations, induisant des surcoûts imprévus

importants ; un exemple est donné en fin d'article.

Dans le cadre du plan câble mis en place en Rhône-Alpes pour développer ce mode de débardage, l'ONF et le FCBA ont développé un logiciel permettant de déterminer sur une ligne de câble l'implantation des pylônes nécessaires en fonction du profil du terrain.

Positionnement des supports avec SIMULCABLE

SIMULCABLE est un logiciel qui permet de modéliser la trajectoire du chariot sur la ligne de câble, à partir des caractéristiques de la ligne projetée (point de départ, point d'arrivée, profil du terrain, tension du câble, charge nominale, coefficient de sécurité...) et de positionner les pylônes de façon optimale en restituant en profil longitudinal les principaux éléments de la ligne (figure 3).

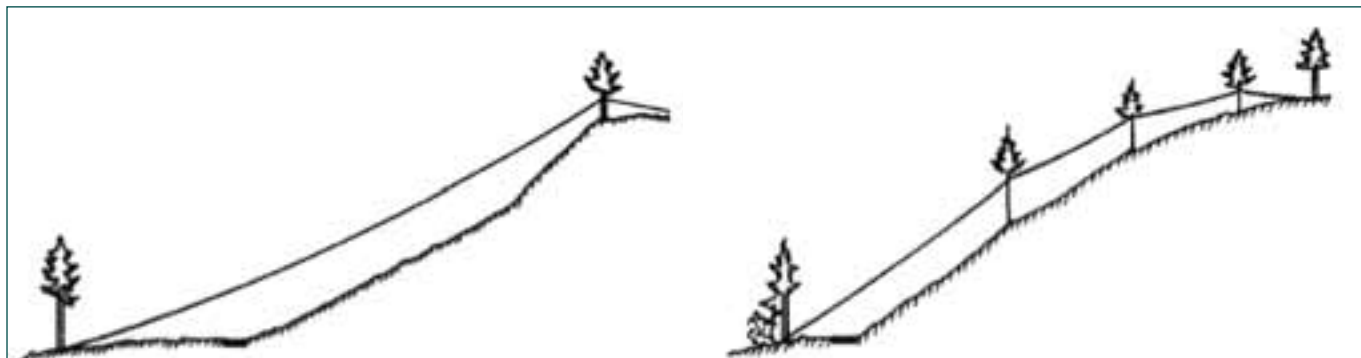


Fig. 1 : un profil de terrain concave (à gauche) exige peu ou pas de support, contrairement à un profil convexe (à droite)

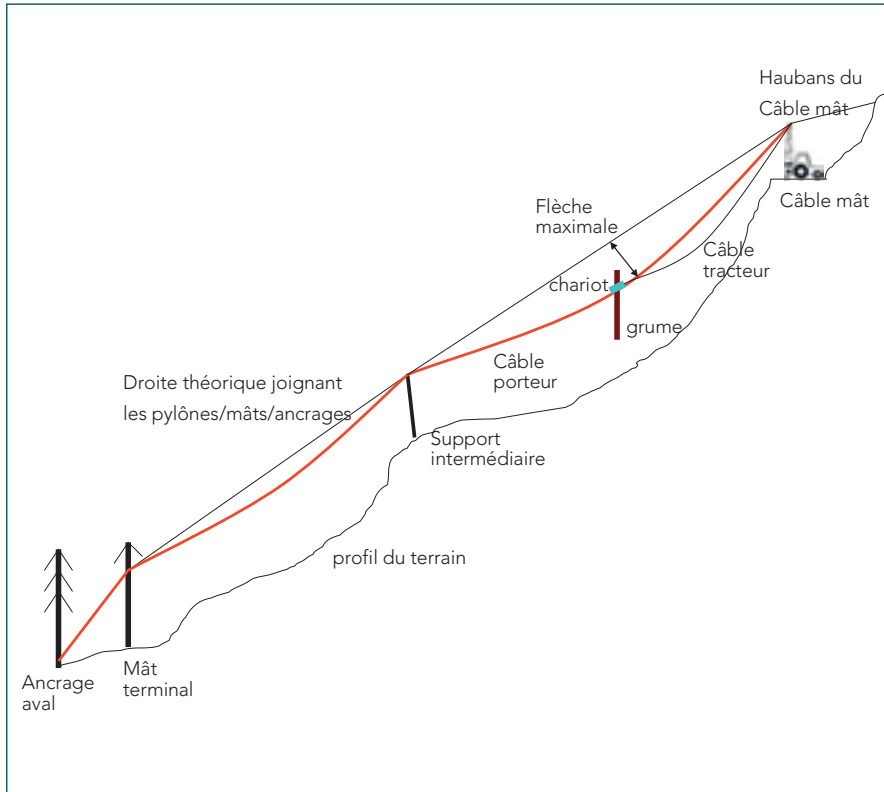


Fig. 2 : schéma d'un profil de câble

Paramètres à saisir pour la définition du projet de ligne de câble

Pour commencer, l'opérateur introduit dans le logiciel les éléments du profil en long de la ligne projetée.

Trois méthodes sont possibles :

- la première, et la plus pratique, consiste à saisir les points caractéristiques du profil (départ, arrivée, ruptures de pente, thalwegs, ...) en mesurant sur une carte IGN, l'altitude de chaque point et la distance horizontale par rapport au point de départ de la ligne.
- On peut aussi utiliser les mesures de la pente et de la distance d'un point à l'autre, prises directement sur le terrain.
- Enfin il est possible d'importer un MNT (Modèle Numérique de Terrain) préalablement établi.

Une fois le profil saisi, les caractéristiques du câble porteur et du câble tracteur sont introduites (type de câble, masse linéaire, charge de rupture), ainsi que celles du chariot (son poids et la charge maximale acceptée).

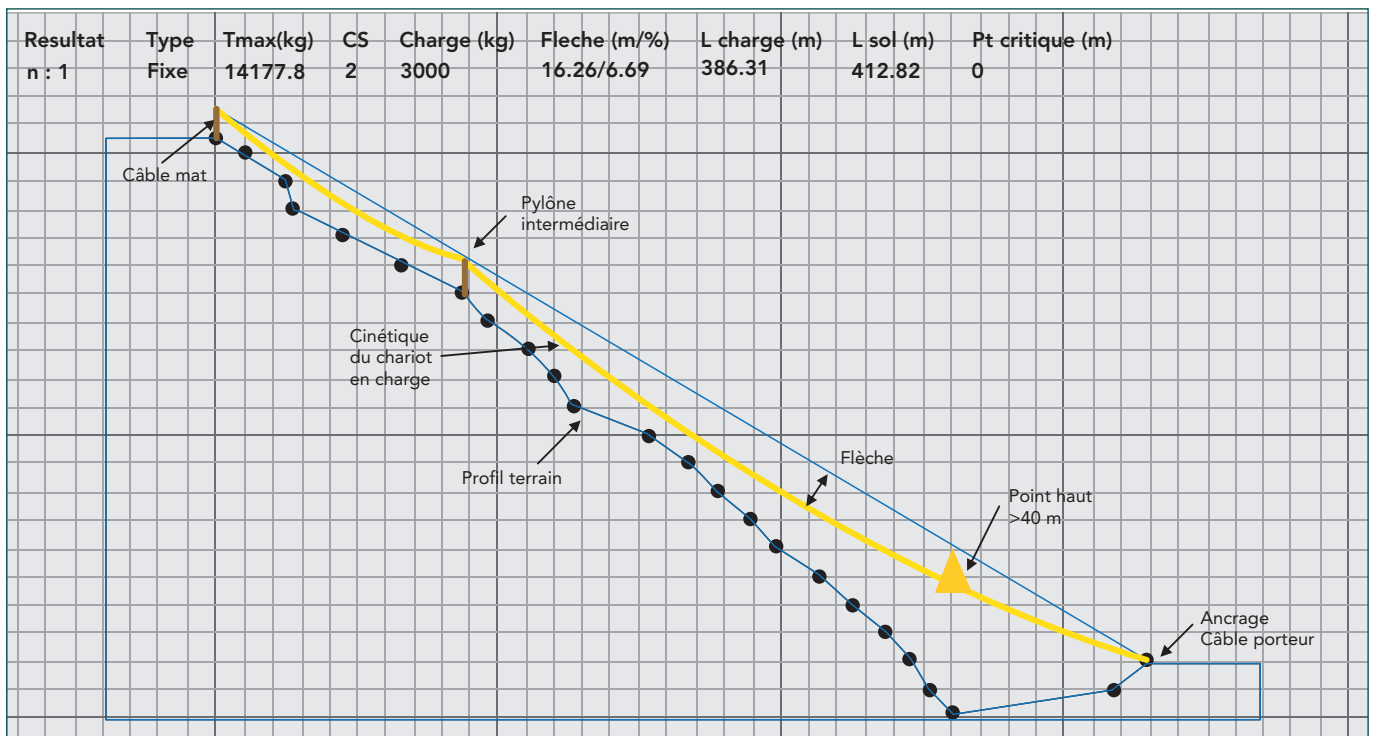


Fig. 3 : restitution SIMULCABLE avec les indications des principaux éléments, le carroyage (10 m x 10 m) donne l'échelle du profil

Ensuite, sont positionnés sur le profil les 2 mâts (ou ancrages) terminaux¹, et les éventuels pylônes intermédiaires. Pour les mâts terminaux et les éventuels pylônes intermédiaires est également saisie la hauteur à laquelle le câble porteur est positionné.

Le coefficient de sécurité retenu sur la tension maximale du câble porteur est enfin introduit. Ce coefficient de sécurité est le rapport entre la tension de rupture du câble porteur (indiquée par le fabricant) et la tension maximale admise du câble porteur lors des opérations de débardage, lorsque la charge débardée est à sa valeur maximale. Le coefficient de sécurité est généralement fixé à 2 pour les opérations de débardage.

Résultats des calculs

Les calculs réalisés par SIMULCABLE donnent des résultats graphiques et sous forme de tableau (voir tableau en haut de la figure 3).

- Dans le tableau sont indiqués :
 - un numéro par calcul réalisé
 - le type de ligne (câble porteur fixe ou libre) ;
 - la tension maximale que supporte le câble porteur lors des opérations de débardage ;
 - le rappel du coefficient de sécurité utilisé lors du calcul ;
 - le rappel de la charge maximale transportée ;
 - la flèche maximale du câble (cette donnée, exprimée en m et en % - ratio entre la flèche et la portée entre deux supports - est une donnée technique qui ne sert qu'aux calculs théoriques) ;
 - la longueur du câble porteur ;
 - la longueur du profil au sol ;
 - la hauteur du point le plus bas par rapport au sol (appelé point critique), qui va aider à optimiser le positionnement des pylônes nécessaires.

- Sur le graphique sont figurés :
 - le cheminement du chariot en charge sur le câble porteur (appelé chemin critique) ;
 - les mâts (ou ancrages) terminaux et les pylônes intermédiaires éventuels ;
 - la position du point critique (point où le chariot passe le plus près du sol) ;
 - la position du point où le câble survole le sol à la hauteur maximale (lorsqu'il est à vide) uniquement si la hauteur de survol est supérieure à 40 m.

Cette dernière information est donnée car il est réglementairement né-

cessaire de faire une déclaration à l'aviation civile si le câble est à plus de 50 m de survol au-dessus du sol, et de façon moins formelle dès que le câble dépasse la hauteur maximale de la canopée.

La configuration de la ligne peut être optimisée de façon incrémentielle avec SIMULCABLE, en ajoutant, déplaçant ou supprimant des pylônes, en déplaçant les ancrages terminaux et en testant d'autres axes de ligne. Nota : pour le moment SIMULCABLE ne traite que les câbles porteurs fixes qui correspondent à la plus grande part des câbles travail-

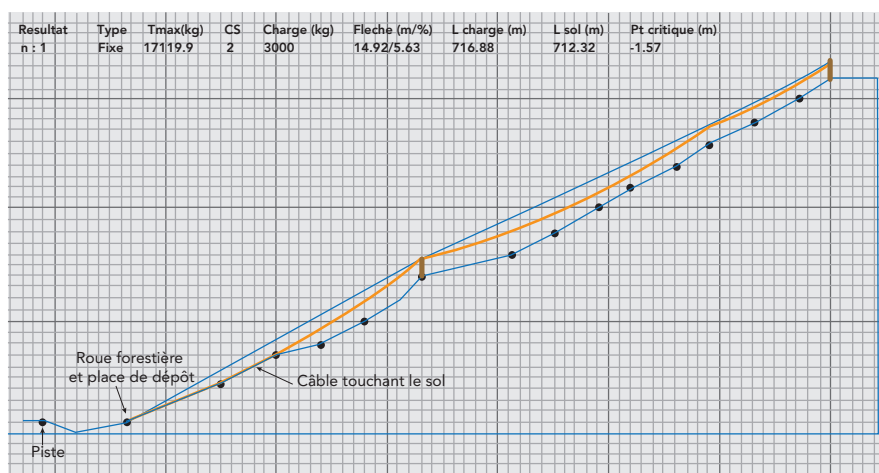


Fig. 4 : ligne réalisée à l'intuition ; sur les 150 m du bas de la ligne, le câble porteur est trop bas et ne permet pas de lever la charge suffisamment

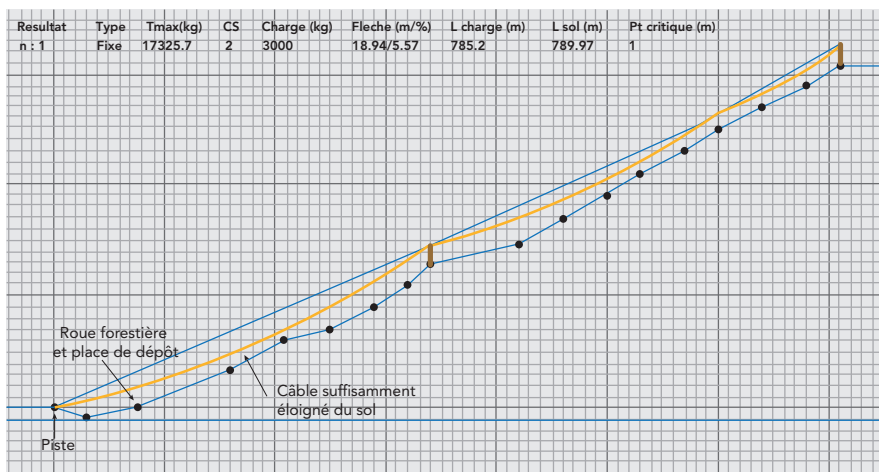


Fig. 5 : même ligne, rendue fonctionnelle en reculant l'ancrage aval

¹ Dont le mât du câble mât dans le cas d'une ligne réalisée au câble mât

lant sur le marché français. Par ailleurs, SIMULCABLE est prévu pour pouvoir travailler en mode 3D mais ce mode n'est pas très ergonomique. Comme il présente pour l'instant peu d'intérêt, il est conseillé de travailler exclusivement en mode 2D.

Exemple

Les figures 4 et 5 illustrent *a posteriori* un exemple de câble long où le positionnement de la ligne et des points terminaux, réalisé à l'intuition, a conduit à installer une ligne non fonctionnelle.

Sur cet exemple, il fallut six jours à l'équipe de trois câblistes pour arriver par tâtonnements à repositionner le câble de façon opérationnelle, soit 18 journées de travail perdues. Or l'étude préalable avec SIMULCABLE ne prend que deux heures pour finaliser le projet opérationnel.

En pratique, à qui SIMULCABLE est-il destiné ?

SIMULCABLE est d'abord un outil destiné aux personnes réalisant des projets câble et qui ont une certaine pratique du câblage (chefs de projets câble, chefs de triage réalisant en moyenne une ligne de câble par an, câblistes ...). Il permet de fiabiliser les projets, de maîtriser les coûts, les estimations de temps de travail et les plannings prévisionnels pour une meilleure performance de la chaîne d'exploitation.

L'outil s'installe sur un simple PC de façon très simple (nécessité d'avoir le statut d'administrateur du PC), et la formation de l'utilisateur pour une bonne « prise en main » se fait en moins de deux heures. Diffusion du logiciel et appui technique : Jacques Fay DTCB Département R&D Pôle Montagne Chambéry. (jacques.fay@onf.fr
Tél. : 06 18 68 18 00)

Perspectives

Au-delà de son rôle premier d'implantation des lignes, SIMULCABLE s'inscrit également dans des projets de recherche actuellement développés par les forestiers de montagne, sur une base de cartographie LIDAR (laser aéroporté) des massifs :

- optimisation du positionnement des projets de desserte forestière, en lien avec les techniques d'exploitation possibles ;
- détermination géographique de la ressource et optimisation de sa mobilisation par l'implantation de lignes dans les secteurs les plus chargés en volume ;
- calcul prévisionnel des coûts de mobilisation en lien avec les techniques retenues.

Tous ces liens devraient à l'avenir consolider les outils d'aide à la décision aussi bien pour les choix d'implantation ou d'évolution de réseau de desserte, que pour le choix de solutions de mobilisation techniques, environnementales et économiques les plus performantes possibles.

Jacques FAY

Laurent DESCROIX

ONF – pôle R&D Chambéry

Paul MAGAUD

FCBA station Sud-Est

Didier PISCHEDDA

ONF - DTCB

Bibliographie

Pischedda D., Fay J., Magaud P., 2011. SIMULCABLE 3D, manuel de l'utilisateur. Notice FCBA-ONF

Descroix L., Fay J., 2011. Référentiel de mise en œuvre des coupes à câble Rhône Alpes : version 2011. Document ONF

PISCHEDDA D., 1999. Les techniques de câblage – Outils pour la gestion durable des forêts de montagne. 10 Fiches techniques, Ecole d'Agriculture de Poisy.

Impact des sécheresses estivales sur la croissance radiale du hêtre et du sapin dans le Bugey : quelles conséquences pour la gestion ?

Situées dans le sud du Jura, les forêts du Bugey sont depuis le 18^e siècle dévolues principalement à la production de sapin. Or des dépérissements apparus dans les années 1980, ainsi qu'une forte dynamique de la régénération du hêtre, tendent à faire régresser la place du sapin. Est-ce un effet lié à l'historique des sapinières, vieilles et jadis trop pures, ou peut-on y voir un effet des évolutions climatiques ? Le hêtre est-il amené à se substituer au sapin, car plus adapté aux nouvelles conditions climatiques ?

Depuis une trentaine d'années, la mortalité du sapin pectiné a entraîné une décapitalisation de cette essence de l'ordre de 30 à 40 % dans le Bugey central. Parallèlement, le hêtre n'a subi quasiment aucune mortalité. Dans le même temps, la station météo d'Ambérieu-en-Bugey donne une augmentation de près de 1 °C des températures estivales (juin-juillet-août), et une baisse de 20 à 30 mm de la pluviométrie estivale. De ce constat pourrait être tirée la conclusion hâtive que le hêtre est mieux adapté aux évolutions du climat. Or, les populations de ces deux essences sont très différentes : pour les sapins,

arbres âgés et gâtés, issus de futaies irrégulières surcapitalisées et pures ; pour les hêtres, population en plein essor issue des coupes de chauffage pratiquées jusque dans les années 1950. L'objet de l'étude est donc de tenter une comparaison entre ces deux essences, en s'affranchissant de cet aspect historique, et en étudiant leurs réactions face au climat « toutes conditions égales par ailleurs ».

Le dispositif expérimental

Domaine de l'étude

L'étude est menée dans la région du Bugey central, dans le département de l'Ain, au sud du massif du Jura. Le sous-sol y est très majoritairement constitué de dalles calcaires, plus ou moins fissurées. Les sols sont superficiels et pierreux, à dominante limoneuse. La pluviométrie est forte (1600 mm) et généralement bien répartie (340 mm en été). Les températures moyennes sont de l'ordre de 8.5 °C.

L'analyse est menée à l'étage du montagnard inférieur (altitudes comprises entre 850 et 1100 m), en adret (expositions sud à ouest), et pour des peuplements adultes mélangés hêtre – sapin (photo). Ces conditions regroupent en effet les stations les plus favorables à la hêtraie-sapinière



Peuplement-type de l'étude

du Bugey. Elles forment le domaine de validité de l'étude, au-delà duquel les conclusions qui seront tirées ne sont pas généralisables.

Quel indicateur étudier ?

Les caractéristiques des arbres disparus suite aux dépérissements n'étant pas connues, il est choisi d'étudier l'impact du climat sur la croissance, et non sur la mortalité. Ce préalable suppose que mortalité et perte de croissance soient liés, ce qui n'est pas immédiatement évident et mériterait d'être discuté. En particulier, de nombreux cas de mortalité brutale ont été observés suite à 2003 sur les sapins très vigoureux en station fraîche. Nous y reviendrons en fin d'article.



Sapin dépérissant dans le Bugey

Une étude dendrochronologique

L'impact des sécheresses sur la croissance radiale est étudié au travers de mesures de largeurs de cerne (voir encadré Dendrochronologie). Au total, ce sont 54 hêtres et 54 sapins, choisis dans 18 placettes qui ont été carottés à cœur à l'aide d'une tarière motorisée. Les arbres ont été choisis dans l'étage dominant, et de façon à ce qu'au sein d'une placette les hêtres et sapins soient comparables (diamètre, hauteur, houppier, situation de concurrence équivalents). Ces mesures permettent de comparer les pertes et reprises de croissance des deux essences suite à une année sèche, puis de comprendre quels sont les paramètres climatiques qui défavorisent la croissance radiale.

La prise en compte de la réserve en eau des sols

En sols pierreux, la réserve utile maximale est difficile à évaluer par simple sondage à la tarière pédologique (voir encadré sur l'eau). Seules des valeurs de volume de sol sont donc calculées, de la manière suivante :

$$V = Pf \times (1 - Pr)$$

V est le volume de sol prospectable par m² de surface.

Pf est la profondeur de sol maximale mesurée à la tarière à spirale sur la placette.

Pr est la pierrosité moyenne du profil de sol ainsi décrit (en %).

Le volume de sol calculé permet de répartir chacune des placettes sur lesquelles ont été faits les relevés dans trois groupes stationnels distincts : volume de sol faible (sol superficiel, pierrosité forte), moyen, et fort (sol profond, pierrosité faible). Dans la suite, on parlera de sols superficiels, moyens et profonds.

La mise en relation avec les données climatiques

Les données climatiques utilisées pour cette étude sont celles de la station Météo France d'Ambérieu-en-Bugey, corrigées de l'effet de l'altitude. Pour chaque mois de chaque année, à partir de 1941, les tempé-

tures moyennes, précipitations cumulées et bilans hydriques climatiques moyens (P-ETP) sont relevés.

Ces données permettent de préciser quelles ont été les années de sécheresse estivale dans le Bugey. Trois d'entre elles sont retenues : 1976 et 2003, car ce sont des années de sécheresse dont l'impact sur les peuplements est connu et documenté, et 1989 car elle pré-

sente un bilan hydrique climatique annuel particulièrement négatif. Par ailleurs, les données climatiques permettent d'établir des modèles de croissance, ou fonctions de réponse, qui donnent pour chaque essence et chaque situation de réserve utile le ou les paramètre(s) climatique(s) qui expliquent le mieux l'indice de croissance observé.

Dendrochronologie : principe et méthode

La largeur de cerne mesurée pour une année *n* peut être considérée comme le résultat d'un ensemble de facteurs, internes ou externes, classiquement représentés de la manière suivante :

$$LCn = An + Cn + D1 + D2 + En$$

LCn représente la largeur mesurée du cerne.

An correspond à l'effet de l'âge d'élaboration du cerne.

Cn correspond à l'effet des variations interannuelles du climat.

D1 correspond aux conditions stationnelles locales, telles que la fertilité du milieu ou l'alimentation en eau.

D2 correspond aux effets à plus long terme des changements des conditions environnementales, tels que les effets du changement climatique ou de l'évolution progressive des pratiques sylvicoles.

En est le signal aléatoire caractérisant la variabilité propre à chaque arbre (potentiel génétique de l'arbre, erreurs de mesure...).

Ainsi, afin d'étudier l'effet du climat sur la croissance, il est nécessaire de s'affranchir des effets à long terme tels que ceux de l'âge, de la station ou de l'évolution de la sylviculture. Pour cela, il existe une méthode statistique appelée standardisation, qui permet de passer d'une série de largeurs de cerne mesurée en millimètres à une série d'indices de croissance (sans unité) dans laquelle seul l'effet des variations interannuelles du climat s'exprime. Ce sont ces séries d'indices de croissance qui sont analysées pour l'étude.

L'eau dans les peuplements forestiers : quelques définitions

La notion qui définit le mieux l'eau disponible pour un peuplement forestier est celle du **bilan hydrique**. Il correspond à l'évolution temporelle de la réserve en eau du sol. Il est estimé en considérant des entrées en eau (précipitations), des sorties (évaporation, transpiration, drainage et ruissellement), et des stocks (réserve utile).

Un **bilan hydrique climatique** (Bhc) peut également être calculé, par différence entre les précipitations et l'évapotranspiration. Ce paramètre permet notamment de comparer différents peuplements sans connaître la réserve utile du sol.

La **réserve utile maximale** est la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir et que les plantes sont capables de puiser. Elle peut être calculée à partir des mesures d'épaisseur, de texture et de pierrosité de chaque horizon.

La **réserve utile** est la quantité d'eau contenue dans le sol réellement disponible pour le peuplement en un instant *t*.

La **sécheresse** est un événement extrême qui se traduit par une modification des processus physiologiques de l'arbre. On peut distinguer la sécheresse hydrologique, qui correspond à un bilan hydrique climatique (précipitations – évapotranspiration) négatif, de la sécheresse édaphique, qui prend également en compte la réserve utile.

Le sapin menacé sur les stations à sol superficiel du Bugey ?

Les stations de sol superficiel apparaissent dans la littérature comme les stations les plus « à risque » pour le sapin, compte tenu des évolutions climatiques à venir. C'est pourquoi l'étude cherche en particulier à répondre à cette question : le sapin est-il également menacé sur les stations à sol superficiel du Bugey, malgré une pluviométrie moyenne importante et homogène tout au long de l'année ?

Une croissance moyenne plus faible

Les résultats montrent que sur les stations à sol superficiel, la croissance moyenne du sapin est plus faible que sur sol profond ; à l'inverse, le hêtre présente une croissance similaire sur les trois types de sols (figure 1). Si les pertes de croissance mesurées en année sèche pour le sapin sont comparables d'un type de station à un autre, ainsi que la reprise de croissance, la répétition des épisodes de sécheresse impacte les sapins sur sols superficiels sur le long terme, comme le montre le décrochement de leur croissance à partir des années 80.

Des dépérissements liés aux impacts successifs des sécheresses

L'étude des dépérissements, réalisée au travers des mesures de pourcentage de branches mortes dans le houppier fonctionnel effectuées à l'occasion des carottages, montre que les sapins porteurs de branches mortes ont, depuis plusieurs décennies, une croissance bien inférieure à celle des sapins dits sains, c'est-à-dire ne présentant aucune branche morte (figure 2). Notons que cette observation ne se vérifie pas dans le cas du hêtre, dont la croissance ne semble pas liée au taux de branches mortes.

De plus, la sécheresse semble un élément déclencheur de perte de vitalité chez les sapins déjà en difficulté. Ainsi,

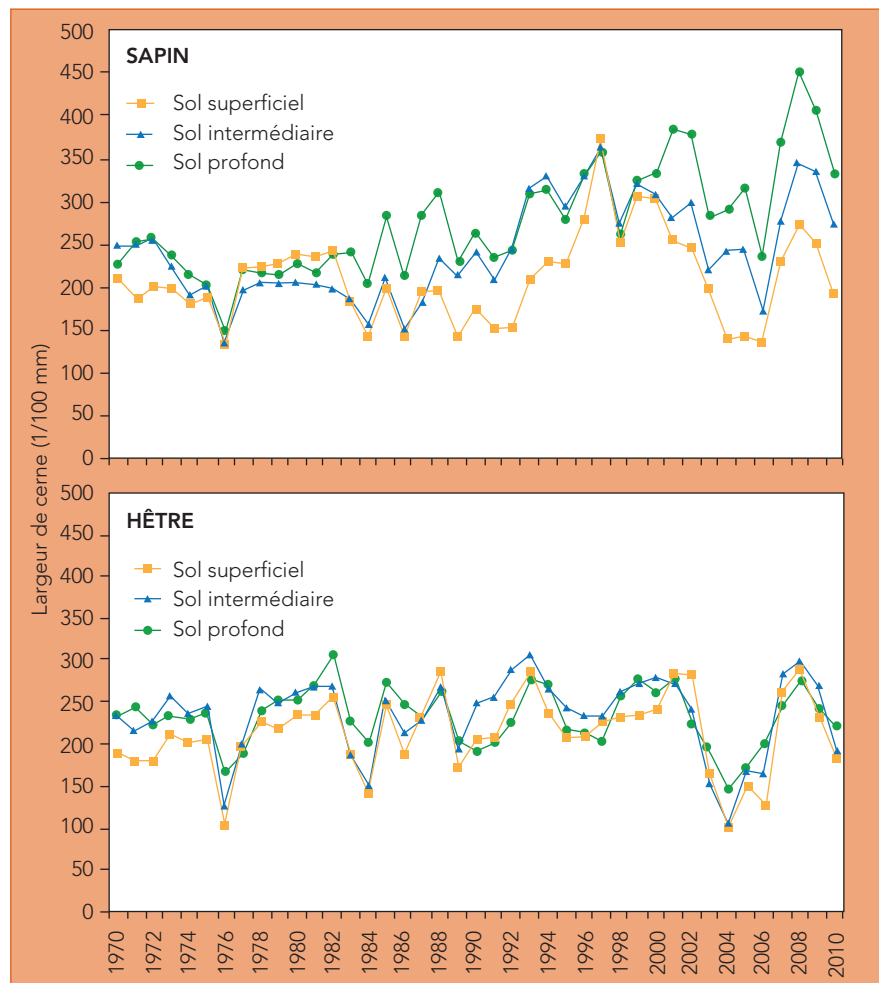


Fig. 1 : largeur moyenne des cernes des sapins et des hêtres de 1970 à 2010, selon la profondeur du sol

par exemple, suite à la période 2003-2006, les sapins porteurs de plus de 5 % de branches mortes ne sont plus capables de profiter des conditions climatiques très favorables de 2007 pour retrouver le niveau de croissance qu'ils connaissaient avant la sécheresse. Par ailleurs, la grande majorité des sapins porteurs de branches mortes se trouvent sur des stations de sol superficiel à moyen. Cette observation vient en appui des résultats obtenus sur la croissance, et justifie le fait de classer ces stations comme « à risque » face au changement climatique.

⇒ Le pourcentage de branches mortes semble être un bon indicateur de la croissance du sapin. Il pourrait donc s'ajouter aux critères de choix des individus à récolter lors des martelages.

Le hêtre : essence de substitution au sapin ?

Deux comportements très proches

Les résultats montrent que les sécheresses ont un impact similaire sur la croissance du hêtre et du sapin : perte de croissance moyenne de 20 à 40 % par rapport à la croissance moyenne des 5 années précédant la sécheresse et retour à ce niveau de croissance rapide si les conditions climatiques le permettent. De manière plus générale, les variations interannuelles de la croissance se font de manière quasi synchrone pour les deux essences. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces résultats. D'une part, le hêtre et le sapin sont deux essences caractéristiques du montagnard, aux exigences climatiques proches. D'autre part, le contrôle de la transpiration en cas de

sécheresse est, pour les deux essences, relativement tardif et apparaît pour des potentiels hydriques déjà faibles (-1,5 à -2,5 MPa).

Une réponse plus nette du hêtre au climat

Pour les années de sécheresse 1976 et 2003, le hêtre montre une perte de croissance plus forte que celle du sapin, d'en moyenne 20 %. Cependant, une proportion plus faible de sapins connaît un retour à la croissance moyenne des années précédant la sécheresse. En effet, suite à 1976 par exemple, seuls 60 % des sapins étudiés retrouvent leur niveau de croissance des années 1971-1975 dans les huit années qui suivent la sécheresse, contre 90 % des hêtres. L'année 1989 semble quant à elle avoir eu peu d'impact sur la croissance des deux essences, malgré un bilan hydrique climatique estival inférieur à -50 mm (il était de -33 mm en 1976 et -51 mm en 2003). Une explication pourrait se trouver dans les températures estivales : parmi ces trois années, seule la sécheresse de 1989 n'a pas été accompagnée de canicule.

Les fonctions de réponse permettent également de différencier les réponses du hêtre et du sapin au climat. Tandis que la croissance du hêtre est favorisée par un bilan hydrique des mois de juin et juillet fort, et ce quel que soit le type de station sur lequel on se trouve, la croissance du sapin est quant à elle très peu dépendante des paramètres climatiques de l'année. Seules les températures élevées des mois d'août et septembre de l'année précédente ont un impact négatif sur la croissance, et ce uniquement sur les stations à sol superficiel.

Deux réactions bien distinctes se font donc sentir : le hêtre est une essence très réactive, sensible aux sécheresses estivales, mais capable de reprendre de manière systématique sa croissance après un événement climatique défavorable. Le sapin, au contraire, est une essence peu réactive, qui lisse les effets du climat sur plusieurs années et peut accumuler les pertes de crois-

sance dues aux événements extrêmes jusqu'à décrocher.

Des stations à risque pour le hêtre ?

L'augmentation de l'intensité des sécheresses estivales, prévue par les modèles de changement climatique, se traduit par une diminution du bilan hydrique climatique moyen des mois de juin et juillet. Or, ce facteur est l'un des principaux paramètres climatiques explicatifs de la croissance du hêtre. D'où l'intérêt d'observer de plus près la réponse de cette essence au bilan hydrique climatique estival, pour les différents types de station définis dans l'étude. Sur les stations à sol superficiel et

moyen, on peut observer (figure 3) un seuil de réponse, proche de -15 mm, en dessous duquel la croissance du hêtre chute de manière importante. Ainsi, en supposant que, dans un contexte de changement climatique, ce seuil de réponse ne soit pas amené à évoluer, il est possible de considérer que dans le Bugey, les stations de sol superficiel à moyen qui connaissent déjà un bilan hydrique climatique estival inférieur à -15 mm sont des stations « à risque » pour le hêtre. Attention cependant à ne pas considérer ces stations de la même manière que les stations dites « à risque » pour le sapin. En effet, il s'agit là de situations dans lesquelles la croissance du hêtre

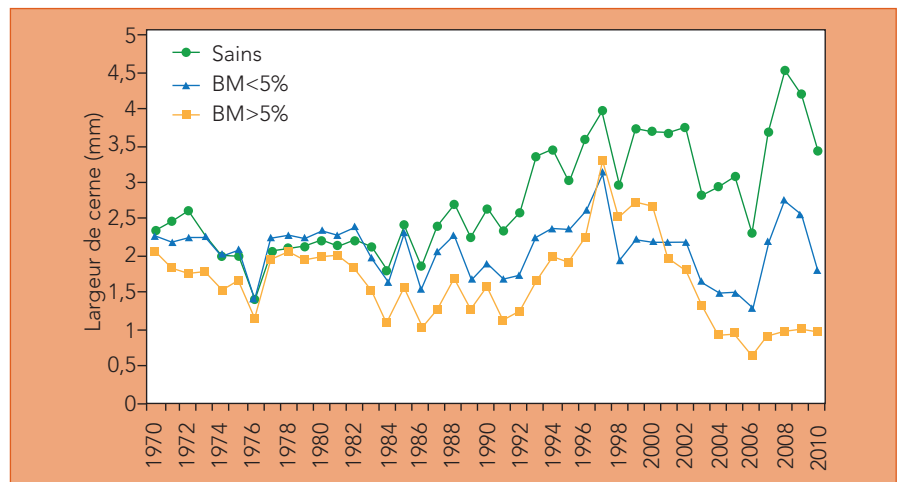


Fig. 2 : largeur moyenne des cernes des sapins sains, porteurs de 1 à 5 % de branches mortes (BM < 5 %) et porteurs de 5 à 25 % de branches mortes (BM > 5 %)

Physiologie comparée du sapin et du hêtre

Deux points sont essentiels pour comprendre les différences de réponse du sapin et du hêtre au climat.

Tandis que le hêtre renouvelle chaque année ses surfaces d'échange gazeux, le sapin peut quant à lui conserver ses aiguilles de 6 à 8 ans. Ce caractère sempervirent a pour principale conséquence le lissage des effets du climat. En effet, le sapin conserve sa capacité photosynthétique pendant l'hiver, ce qui peut lui permettre de compenser les impacts d'une mauvaise saison estivale par l'accumulation de réserves pendant cette période. Au contraire, si une année particulièrement défavorable conduit à la non-formation d'aiguilles cette année-là, la surface foliaire du sapin sera réduite jusqu'au renouvellement complet des aiguilles, 6 à 8 ans plus tard.

Le sapin possède un appareil racinaire de type pivotant, tandis que celui du hêtre reste superficiel. Or, en situation de déficit hydrique, l'arbre va chercher à puiser l'eau dans les horizons les plus profonds. Par rapport au hêtre, ce caractère tend à compenser l'impossibilité de stopper toute consommation d'eau en chutant ses aiguilles.

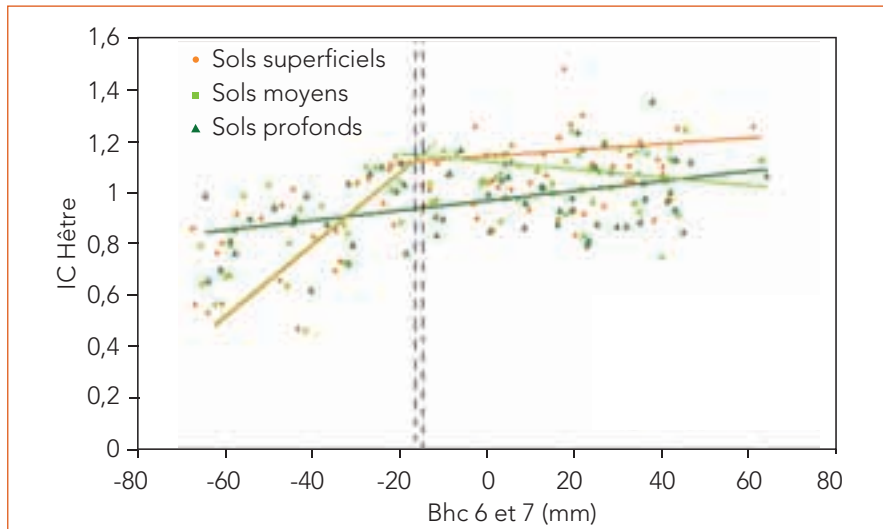


Fig. 3 : réponse de l'indice de croissance (IC) du hêtre au bilan hydrique climatique des mois de juin et juillet (Bhc 6 et 7)

aura tendance à diminuer, mais dans lesquelles l'état sanitaire des individus ne sera *a priori* pas affecté.

Quelles recommandations selon la station ?

Les deux traits de caractère que sont :

- le bon comportement du sapin sur sol profond,
- l'indifférence au sol du hêtre pourvu que le bilan hydrique climatique soit bon,

permettent d'établir schématiquement des recommandations dans le choix des essences objectif (tableau 1).

Concrètement, grâce à l'utilisation de modèles climatiques (LERFoB), il est possible d'établir une carte des bilans favorables, à croiser par le gestionnaire de terrain avec le type de sol donné par la typologie de stations.

⇒ L'étude ne fait pas ressortir le hêtre comme une essence de substitution au sapin adaptée à toutes les situations. Il est important de considérer dans le choix des essences d'une part l'avenir encore possible du sapin sur les stations aux sols les plus profonds et, d'autre part, le risque de perte de productivité du hêtre sur les stations où le bilan hydrique est le plus faible (sol superficiel et apports atmosphériques faibles).

Gérer des peuplements économes en eau et résistants à la sécheresse

Au-delà du choix des essences, l'adaptation des peuplements forestiers à l'augmentation de la fréquence des sécheresses estivales peut se faire via des itinéraires sylvicoles permettant à la fois une économie en eau en année « moyenne » et une meilleure résistance à la sécheresse en année particulière.

Influence des trouées et éclaircies sur le bilan hydrique des peuplements

Les éclaircies façonnent à la fois les peuplements (densité de tiges, masse foliaire, éclaircissement du sol...) et les individus (taille des houppiers, croissance radiale, taille des vaisseaux conducteurs...). Elles ont ainsi une influence considérable sur la gestion de l'eau en forêt. En diminuant la surface foliaire (LAI), cette opération permet de diminuer à la fois la transpiration globale du peuplement (y compris en prenant en compte l'augmentation de la transpiration du sous-bois), l'interception des pluies par le couvert et la compétition pour l'eau au niveau du sol. Le bilan hydrique du peuplement est donc amélioré. Cependant, différents points restent à éclaircir. Tout d'abord, notre étude a montré que la perte de croissance des sapins en 2003 était

corrélée à la taille de leur houppier. Cette vulnérabilité paradoxale des sapins les plus vigoureux lors de certains épisodes de sécheresse intense a été montrée dans d'autres contextes, par exemple par Cailleret (2011) dans le Ventoux. Le lien entre vigueur et capacité de résistance aux sécheresses, évoqué au paragraphe « Quel indicateur étudier ? », semble donc avoir ses limites.

Par ailleurs, l'effet sur la dynamique du gui des éclaircies dans des sapinières vieilles mérite une approche spécifique, l'apport de lumière pouvant être favorable au développement du parasite.

Influence du mélange ?

Enfin, l'étude a porté sur des peuplements mélangés. Il est fort possible qu'une même étude en peuplements purs ne donne pas les mêmes résultats, car les peuplements mélangés sont supposés plus résistants à la sécheresse :

- les essences ne sont pas toutes sensibles au même seuil de stress ;
- en cas de dépérissement, le peuplement conservera une partie de son couvert forestier et de son potentiel séminal par le biais des essences les plus résistantes.

Des études récentes ont également mis en évidence des phénomènes de compensation entre les essences dans certains peuplements mélangés ; c'est par exemple le cas des peuplements mélangés chêne sessile – pin sylvestre de la forêt d'Orléans, pour lesquels la productivité serait supérieure comparé aux situations de peuplement pur (Pérot et al., 2008). L'intérêt du mélange sapin-hêtre mériterait donc d'être étudié dans le contexte du Bugey.

Conclusion : bilan et perspectives

Cette étude, menée à une échelle très locale, vient confirmer les résultats d'études réalisées pour des échelles plus larges (par exemple dans le cadre du réseau RENECO-FOR) et par d'autres méthodes. Elle renforce notamment l'hypothèse de

	Bilan hydrique climatique favorable (BH6,7 ≥ 15mm)	Bilan hydrique climatique défavorable (BH6,7 < 15mm)
Sol superficiel	hêtre	autre essence
Sol profond	sapin - hêtre	sapin - hêtre

Tab. 1 : recommandations schématiques pour le choix du hêtre ou du sapin comme essence objectif dans le Bugey : les seuls contextes où le hêtre semble une espèce de substitution appropriée sont les stations à sol superficiel soumises à un climat favorable.

la sensibilité du sapin à la sécheresse sur les sols les plus superficiels. Elle tend à valider les différences de comportement entre le sapin et le hêtre observées par ailleurs, à savoir une réponse lissée de la croissance du sapin au climat, et au contraire une réactivité et une plasticité importante du hêtre face aux événements climatiques. L'étude apporte également quelques éléments nouveaux pour le choix des essences dans le Bugey, dans le contexte particulier de sapinière dépérissante et hêtraie dynamique à l'étage montagnard inférieur.

Les pistes de recherche levées par cette étude sont nombreuses. Le premier axe, déjà étudié par ailleurs mais encore flou, concerne le lien entre accroissement, dépérissement et mortalité. La baisse d'accroissement apparaît dans la littérature en lien étroit avec une fragilisation de l'arbre (signes de dépérissements, mortalité). À titre d'exemple, Bert *et al.* (1990) montrent que dans le Jura, la croissance des sapins est inversement proportionnelle au manque d'aiguilles. Cependant, les arbres de petit diamètre à accroissement faible font exception, puisqu'ils ne sont pas plus susceptibles de mourir que la moyenne. L'explication du lien accroissement faible - mortalité pourrait résider dans un dysfonctionnement de l'équilibre en carbone de l'arbre, l'épuisement des réserves aboutissant à la mort de l'individu. Dernièrement, le lien entre accroissement, dépérissement et mortalité a été étudié par Cailleret (2011), qui conclut à une déconnexion entre ces trois phénomènes. Le second axe serait de préciser l'effet des facteurs historiques sur la croissance, à savoir l'âge, la sylviculture, le développement du gui... Enfin, il serait intéressant d'élargir l'étude

à l'étage collinéen. On trouve en effet dans le Bugey des sapinières non dépérissantes pourtant situés à des altitudes « à risque ».

Anne PIERANGELO

AgroParisTech (stage de fin d'études)

Stéphane DUMAS

ONF, Agence Ain-Loire-Rhône

Bibliographie

Aussenac G., Granier A., Bréda N., 1995. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, vol. 47, pp. 54-62

Bert G.-D., Becker H.-M., 1990. Vitalité actuelle et passée du sapin (*Abies alba* Mill) dans le Jura. Etude dendroécologique. *Annales des sciences forestières*, vol. 47, pp. 395-412

Bigler C., Gricar J., Bugmann H., Cufar K., 2004. Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management*, vol.199, pp.183-190

Bréda N., Huc R., Granier A., Dreyer E., 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, vol. 63, p. 20

Cailleret M., 2011. Causes fonctionnelles du dépérissement des sapinières (*Abies alba* Mill.) de l'arrière pays méditerranéen. Thèse de doctorat de l'Unité de Recherches Ecologie des Forêts Méditerranéennes de l'INRA.

Ciais P., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogee J., Allard V., Aubinet M., Buchmann N., Bernhofer C., Carrara A., Chevallier F., De Noblet N., Friend A., Friedlingstein P., Grunwald T., Heinesch B., Keronen P., Knohl A., Krinner G., Loustau D., Manca G., Matteucci G., Miglietta F., Ourcival J., Papale D., Pilegaard K., Rambal S., Seufert G., Soussana J., Sanz M., Schulze E., Vesala T., Valentini R., 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, vol. 437, pp. 529-533

Lebourgeois F., Rathgeber C., Ulrich E., 2010. Effet de la variabilité climatique et des événements extrêmes sur la croissance d'*Abies alba*, *Picea abies* et *Pinus sylvestris* en climat tempéré français. *Revue Forestière Française*, vol. 62, pp. 7-23

Lebourgeois F., 2010. Principes et méthodes de la dendrochronologie. AgroParisTech ENGREF.

Legay M., Mortier F., Mengin-Lecreux P., Cordonnier T., 2007. La gestion forestière face aux changements climatiques : tirons les premiers enseignements. Rendez-vous techniques de l'Office National des Forêts, hors-série n°3, pp. 95-102

Lelou D., Li Z., Maillot A., Véron C., 2009. La gestion sylvicole modifie-t-elle l'économie en eau des systèmes forestiers ? Présentation du séminaire FIF *Forêts et changements climatiques*.

Perot T., Goreaud F., Ginisty C., 2008. Quels modèles de croissance pour les peuplements mélangés ? Exemple du mélange chêne sessile – pin sylvestre. *Revue Forestière Française*, vol. 60, pp. 215-232

Suarez M.-L., Ghermandi L., Kitzberger T., 2004. Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in Nothofagus-site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology*, vol.92, pp.954-966

Protocoles d'inventaires mycologiques en réserves forestières

Retour d'expérience du réseau Mycologie de l'ONF dans les Réserves biologiques

Cet article présente « l'état de l'art » des protocoles utilisés par le réseau Mycologie de l'ONF pour les inventaires dans les réserves biologiques occupées par des habitats forestiers (principalement les réserves biologiques intégrales - RBI). C'est en quelque sorte un bilan méthodologique et une formalisation de la pratique à partir de l'expérience acquise par le réseau depuis 2007, l'orientation prépondérante retenue tout au long de ce travail étant de tendre vers une méthode de relevé standardisée et reproductible, à un coût maîtrisé et donc dans un temps contraint.

Signalons que le protocole mis au point par le réseau Mycologie avec Irstea (ex Cemagref) dans le cadre du projet GNB (Gestion Naturalité Biodiversité)¹ a servi de point de départ à ce projet, mais il n'est pas repris dans ce texte.

Un objet d'étude contraignant

Idéalement, l'objectif d'un inventaire mycologique en réserve biologique (ou dans tout autre espace relevant d'un tel investissement en études) serait d'obtenir une liste d'espèces de la zone considérée – ici la réserve biologique – la plus complète possible dans le cadre d'un état des lieux initial de la fonge, en vue de comparer cette liste à d'autres sites ou de la suivre dans le temps.



Détermination par examen microscopique en laboratoire ; spores bi-apiculées de *Botryobasidium vagum*, au grossissement 1000

Toutefois, compte tenu du très grand nombre d'espèces de champignons forestiers (environ 20 000) et du caractère à la fois aléatoire et fugace d'apparition des sporophores (« fructifications »), viser l'exhaustivité des espèces implique de multiplier considérablement le nombre de passages sur site. Ainsi, l'expérience de la SMF (Société Mycologique de France) à travers les inventaires sur des placettes du réseau RENECOFOR suggère un minimum de 12 passages, à raison de 4 par an pendant 3 années consécutives, sur de petites surfaces (0,50ha pour chaque placette RENECOFOR) sans pour autant être certain d'atteindre l'exhaustivité. Donc *a fortiori*, dans le cas d'une RBI d'au moins une cinquantaine d'hectares,

on peut considérer qu'un inventaire mycologique ne peut quasiment pas prétendre être exhaustif.

Conséquence de cette contrainte, l'ambition étant de réaliser les inventaires et suivis mycologiques à l'échelle d'un réseau de plusieurs dizaines de réserves, un premier choix méthodologique sera de ne réaliser qu'un échantillonnage de la population des champignons. Conséquence suivante, le protocole devra définir une stratégie d'échantillonnage. Il devra préciser aussi le champ taxinomique (les groupes retenus, en fonction de divers critères de pertinence) ainsi que le temps consacré aux inventaires (pour une standardisation et une reproductibilité optimales).

¹ Projet piloté par Irstea et réalisé en partenariat avec l'ONF et RNF (réserves naturelles de France), dont l'objet est l'étude de la réaction de 7 groupes taxonomiques à l'exploitation forestière (champignons, bryophytes, végétaux vasculaires, coléoptères saproxyliques et carabiques, oiseaux, chiroptères).

Dans la suite de l'article, nous distinguons deux situations bien différentes :

- celle des sites équipés de placettes dendrométriques permanentes « PSDRF », pour lesquels nous avons pu mettre au point un protocole reproductible et permettant les comparaisons ;
- celle des sites non équipés de telles placettes où ce protocole est inopérant et qui relèvent d'une logique d'inventaire plus « traditionnelle ».

Un protocole reproductible pour les réserves équipées de placettes permanentes « PSDRF »

Le protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières, qui a également été connu sous le nom de protocole « MEDD », a été élaboré en 2005-2006 sous l'égide du ministère de l'écologie et est devenu un standard national pour le suivi des peuplements forestiers au sein des réseaux des RBI et des Réserves naturelles. Sur un site donné, ce protocole s'appuie sur un réseau de placettes permanentes à raison d'environ une placette par ha². Une originalité de ce protocole, par rapport à des protocoles sylvicoles plus classiques, est le soin particulier apporté à la mesure du compartiment bois mort. Sur chaque placette, on réalise un inventaire des bois vivants ou morts sur pied dans un rayon de 20 m, complété par un tour relascopique et par un échantillonnage par interception linéaire des bois morts au sol.

Le protocole mycologique proposé ici utilise comme échantillon de la réserve une partie des placettes permanentes du PSDRF. Il s'inspire du protocole mycologique sur placettes mis en place dans le cadre de GNB mais, à la différence de celui-ci, il n'impose pas un repérage de toutes les pièces de bois. L'objectif est d'obtenir une liste infor-



Dentipellis fragilis, champignon indicateur de continuité (et naturalité) forestière, sur hêtre

H. Voiry ONF

mative d'espèces à l'échelle de la réserve, et surtout que cette liste permette :

- les comparaisons entre réserves, modulo la prise en compte des covariables importantes comme la surface ou l'ancienneté de la réserve³ ;
- les comparaisons dans le temps (en répétant l'inventaire), sur le même site ou entre réserves, pour suivre l'évolution de la diversité spécifique (notamment pour les RBI au fur et à mesure de leur renaturation spontanée).

Contraintes et choix méthodologiques

Compte tenu du nombre important de sites à étudier et de la nécessité de maîtriser les coûts d'inventaire, la définition du protocole mycologique intègre la contrainte d'un temps d'inventaire volontairement limité. Sans compter que la ressource en spécialistes est fondamentalement faible (en comparaison de disciplines moins complexes comme la botanique ou l'ornithologie, par exemple). Ainsi -et en ayant ajusté cette limitation *a priori* d'après un retour d'expérience de 5 années- le temps consacré par le ré-

seau Mycologie à l'inventaire mycologique d'une réserve forestière « moyenne » (en termes de surface comme de diversité des habitats et peuplements forestiers) correspond à la mobilisation sur le terrain de 2 personnes 5 jours par an pendant 3 années consécutives (soit 30 HJ au total). NB : Pour l'estimation complète du temps d'inventaire, il faut multiplier par deux le temps consacré au terrain pour tenir compte du temps de laboratoire (observations microscopiques et détermination des espèces)⁴.

Dans le cadre de ce temps de terrain limité, le protocole mycologique opère 3 choix méthodologiques : 1° il privilégie les champignons lignicoles ; 2° il s'appuie sur une sélection parmi les placettes dendrométriques ; 3° il prévoit un complément d'inventaires hors placettes.

Champ taxinomique

Les espèces fongiques prospectées en priorité et de façon exhaustive sont les champignons lignicoles : espèces dont les « fructifications » se développent sur le bois.

² Au delà d'une centaine d'ha, la densité d'échantillonnage (en nombre de placettes) décroît avec la surface de la réserve

³ pour un exemple concernant la flore vasculaire, voir Peterken G.F. & Francis J.L. (1999) Open spaces as habitats for vascular ground flora species in the woods of central Lincolnshire, UK. *Biological Conservation*, 91, 55-72

⁴ Le temps de microscopie déjà réalisé pendant la phase de terrain et qui permet de faire les premières approches de détermination est inclus dans le temps terrain



Fomitopsis pinicola en forme de console à marge blanchâtre et son successeur de couleur orangée Pycnoporellus fulgens



Artomyces pyxidatus et Chlorociboria (Ascomycète qui colore le bois en vert)

H. Voiry, ONF

G. Gruhn, ONF

Le choix des champignons lignicoles présente des avantages certains par rapport aux champignons terricoles. Leur apparition est moins dépendante des conditions climatiques qui précèdent immédiatement les relevés, et moins fugace aussi. Certaines espèces sont pérennes (« consoles » grandissant à la manière des cernes du bois) et donc observables toute l'année. D'autres ont des sporophores coriaces qui persistent pendant quelques semaines même lorsqu'ils ne sont plus actifs. Pour d'autres enfin, la fructification s'échelonne sur une période assez longue. Le développement des sporophores dépend en partie des conditions d'humidité des pièces bois. Grâce à cette relative « inertie » des fructifications de champignons lignicoles, nous avons pu retenir le principe d'un seul passage en automne (c'est à cette période qu'on maximise les chances d'observation) pendant trois années consécutives.

Les champignons lignicoles sont des Basidiomycètes et des Ascomycètes⁵. Certains genres concernés font partie des champignons à lames reconnaissables à leur chapeau (Pleurotes, Plutées...) ou décelables par leur mycélium (rhizomorphes d'Armillaire). Mais les champignons sans lames

sont majoritaires : Corticiés, Polypores et Pyrénomycètes. Parmi ces champignons sans lames, de nombreuses espèces forment des fructifications appliquées sur le bois, appelées « croûtes » dans le jargon mycologique. Leur détermination nécessite impérativement, même pour un spécialiste chevronné, l'utilisation du microscope et de réactifs en plus des clés de détermination, de sorte que ces champignons sont généralement exclus des inventaires traditionnels. Or, c'est un point important du protocole, la solidité attendue des résultats suppose d'inventorier tous les lignicoles. Cela a impliqué une spécialisation au sein du réseau Mycologie de l'ONF (à l'instar de la spécialisation du réseau Entomologie sur les coléoptères saproxyliques) et un apprentissage nécessitant un fort investissement de la part des membres du réseau.

Plan d'échantillonnage, description des placettes mycologiques et compléments d'inventaire

Le nombre de placettes PSDRF retenu par réserve pour les inventaires mycologiques est de 10 à 15 en montagne et de 15 à 20 en plaine. Pour le choix de ces placettes, nous avons opté pour une sélection orientée plutôt que pour un tirage aléa-

toire. Nous avons retenu en priorité les placettes qui comportent le plus grand nombre de pièces de gros bois mort au sol – en fait un tirage au sort parmi les 20 % des placettes les plus riches en bois mort. Ces *hospots* de bois mort sont susceptibles d'accueillir le plus grand nombre d'espèces lignicoles. Cette sélection donne donc la possibilité d'obtenir une liste la plus étoffée possible. Elle permet aussi d'écartier les placettes qui risquent d'être pauvres en espèces par absence de bois mort au sol (la richesse des placettes en bois mort étant souvent très variable au sein d'une même réserve). Nous avons préféré tirer au sort N placettes parmi les 20 % les plus riches plutôt que de prendre les N placettes les plus riches en bois mort, dont les caractéristiques devraient dépendre pour partie du nombre de placettes dendrométriques effectuées, pour ne pas introduire de biais dans les comparaisons futures. En effet, plus il y a de placettes, plus riches en bois mort seront les N placettes les plus riches, par simple effet d'échantillonnage. Cette sélection est aussi raisonnée en optimisant si possible le cheminement entre placettes. En montagne, cette réflexion est importante pour tenir compte des dénivelés.

⁵ Les Myxomycètes (qui ne sont plus considérés comme des champignons) sont exclus.



Oudemansiella mucida, champignon visqueux à lames, sur hêtre



Deux « croûtes » sur résineux, dont *Resinicium bicolor* (en rose) antagoniste de *Heterobasidion annosum* (plus connu des forestiers sous le nom *Fomes annosus*)

Sur chaque placette retenue, les gros bois morts au sol ($\varnothing > 30$ cm, ceux qu'on retrouve sur les 3 années consécutives de l'inventaire et qui sont susceptibles d'« exprimer » au mieux le potentiel mycologique) sont échantillonnés en priorité ; ils le sont sur toute leur longueur, même si une partie dépasse les 20 m de rayon de la placette. Puis les autres supports ligneux à l'intérieur du cercle sont examinés. Les champignons non déterminables sur le terrain sont prélevés pour examen microscopique. La durée des relevés sur une placette ne doit pas excéder une heure.

En complément de ce relevé d'espèces lignicoles, les autres champignons rencontrés sur placette ou au cours du cheminement entre placettes peuvent être relevés, en notant le cas échéant le numéro de placette ou le numéro de parcelle. Certains habitats particuliers non représentés dans les placettes peuvent aussi être prospectés. Tous ces relevés complémentaires visent à améliorer la connaissance globale de la biodiversité fongique de la réserve tout en valorisant les déplacements. Rappelons toutefois que la base de comparaison pour les inventaires futurs est constituée par les seuls relevés de lignicoles sur placettes.

Une variante du protocole peut être proposée pour un suivi mycologique individualisé des gros bois morts au sol des placettes. Dans ce cas, il faut veiller à faciliter leur repérage en notant au premier passage la distance et l'azimut de la base de la pièce au centre de la placette (à l'instar de ce qui est fait pour les arbres debout dans les placettes PSDRF). Lors des tests effectués dans la réserve biologique du Haut Chéran (73) en 2007, une identification individuelle des gros bois mort au sol a été faite à l'aide de plaquettes numérotées, pour pouvoir plus facilement les retrouver et les réexaminer lors des campagnes suivantes, même s'ils descendent entre temps dans la pente (problème avéré).

Périodicité d'application du protocole

Sur une réserve donnée, les inventaires ont vocation à être reproduits dans le temps pour être comparés. Le pas de temps entre deux inventaires reste à définir mais devrait être au minimum de 10 à 20 ans. Cette périodicité est calquée sur celle prévue, en l'état actuel des prévisions et du retour d'expérience, pour le PSDRF⁶). En tout état de cause, la deuxième campagne d'inventaire sur les placettes mycologiques est

prévue pour ne venir qu'à la suite de la nouvelle application du PSDRF.

On pourrait être tenté de retenir pour cette deuxième campagne les mêmes placettes que pour l'inventaire initial. Toutefois, entre les deux, les caractéristiques des peuplements auront changé. En particulier, les placettes les plus riches en gros bois mort ne seront peut-être plus les mêmes. Par conséquent, nous préconisons de retenir le même nombre de placettes mais de refaire une sélection parmi les données du deuxième inventaire dendrométrique – selon le même procédé que pour le premier passage, en tirant au sort ces placettes parmi les 20 % les plus riches en bois mort au sol.

Statu quo dans les réserves non équipées de placettes PSDRF

Dans les réserves (existantes ou en projet) non concernées par le *protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières*, l'objectif n'est pas de suivre l'évolution dans le temps mais simplement d'améliorer la connaissance de la fonge locale voire d'en établir une première base, la plupart des réserves ne disposant souvent d'aucun inventaire mycologique.

⁶ Les premières applications du PSDRF datent de 2006

Récapitulatif pratique du protocole adossé aux placettes PSDRF

Époque et durée de l'étude

- Temps terrain : 2 mycologues du réseau pendant 5 jours (délais de route compris) soit 10HJ par an.
- Temps labo = temps terrain = 10HJ par an.
- À répéter pendant 3 années consécutives, en automne.
- Périodicité : *a priori* 10 à 20 ans (idem PSDRF).

Informations et matériel pour l'implantation

(Nécessité de sélection préalable des placettes)

- Plan de la forêt avec localisation des placettes
- GPS ou à défaut boussole et topofil pour retrouver les centres des placettes PSDRF
- Fichier de l'inventaire dendrométrique des placettes sélectionnées, en particulier pour les données sur les gros bois mort et les signalements de champignons sur les arbres morts ou vivants

Matériel pour la mycologie

- Terrain : boîtes, panier, loupe de terrain, couteau, carnet, crayon, enveloppes, papier journal ou papier aluminium.
- Labo : microscope, loupe binoculaire, réactifs, clés de détermination, livres spécialisés (Nécessité de disposer d'un local sûr et fonctionnel pour installer les microscopes et d'une connexion Internet pour avoir un plus large accès à la documentation).

Saisie des données

Les noms des champignons déterminables à vue sont notés sur un carnet de terrain avec l'indication du numéro de placette ou, à défaut, du numéro de parcelle forestière (lors des cheminements entre placettes). En cas de trouvailles d'espèce remarquable hors placette, on notera leur localisation au GPS.

La liste est complétée par les espèces à déterminer ou à confirmer au microscope, pour lesquelles on devra noter aussi le numéro de placette ou de parcelle forestière. Idéalement les déterminations devraient être terminées pendant la semaine labo.

La liste, une fois établie, doit alimenter la BDN (Base de Données Naturalistes de l'ONF).

Rapports

À l'issue de ces opérations, le responsable de l'opération établit un rapport intermédiaire précisant le contexte, les modalités de l'inventaire, les placettes inventoriées, les résultats et leur interprétation pour chaque année d'inventaire. En fin de campagne (après la troisième saison), il fournira un rapport final et une liste récapitulative des espèces qui servira de référence pour les futurs inventaires.

On s'en tient donc à la méthode classique de prospection à l'avancement, telle que la pratiquent généralement les associations mycologiques qui arpentent les forêts pour leur propre compte ou dans le cadre d'une collaboration plus formelle avec l'ONF. Toutes les espèces sont recherchées mais généralement les espèces à lames sont privilégiées (leur détermination n'exigeant pas d'étape « labo »), de sorte que la fonge concernée est plutôt terricole. Ces inventaires « associatifs », qui résultent généralement d'un nombre important de prospections, constituent une source de données précieuse.

Si l'on dispose de ce type d'inventaires pour une réserve donnée, il faut chercher à l'interpréter : intérêt patrimonial, espèces indicatrices de naturalité, espèces spécifiques... Des évolutions et des réflexions sont en cours visant à rapporter les inventaires mycologiques aux associations végétales voire aux habitats forestiers. Cette méthode à l'avancement n'est toutefois pas reproductible à l'identique et ne peut donc en toute rigueur être utilisée pour des comparaisons entre sites.

Dans certains cas, notamment pour l'évaluation préalable des potentialités d'un site (projet de réserve...) exceptionnel ou mal documenté, les membres du réseau Mycologie de l'ONF pratiquent aussi la prospection à l'avancement en ciblant en particulier les espèces lignicoles, selon des modalités qui doivent être précisées dans le rapport (temps passé, espèces recherchées, dispositions pratiques correspondantes...).



P. Blanchard, ONF

Examen de gros bois mort au sol



H. Voiry, ONF

Chandelle et bois mort colonisés par l'« amadouvier » (*Fomes fomentarius*)

En conclusion

L'inventaire mycologique est une discipline exigeante qui se prête mal à la standardisation des relevés. Dans le cas des réserves où s'applique le *protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières*, nous avons pu adosser au dispositif dendrométrique un protocole mycologique reproductible (et d'un coût raisonnable), centré sur les espèces lignicoles, qui permettra en particulier de suivre des évolutions dans le temps. Ailleurs, force est d'en rester à l'inventaire classique à l'avancement qui, en principe, embrasse l'ensemble du champ taxonomique et donne une idée plus complète de la fonge locale mais ne permet pas les comparaisons.

Soulignons que ce travail méthodologique doit être considéré non pas comme une référence définitive, mais comme une contribution à la problématique des protocoles d'inventaires de champignons en forêt, domaine complexe et encore peu développé en France. Par delà cette

contribution, il apparaît indispensable qu'une réflexion plus large et plus aboutie sur les inventaires mycologiques soit menée au niveau national avec des partenaires comme la SMF et les organismes de recherche (Irstea, Inra) à l'instar de ce qui a été réalisé en entomologie avec le programme Inv.Ent.For, lequel a produit des préconisations méthodologiques qui sont devenues une référence pour l'étude de l'entomofaune forestière (notamment les coléoptères saproxyliques)⁷.

Soulignons aussi que la détermination des champignons lignicoles nécessite en général des investigations poussées qui les excluent souvent des inventaires classiques. Or ils constituent une part importante de la biodiversité et une porte d'entrée de la biodiversité « saproxylique » ; c'est donc un compartiment à connaître pour appréhender les écosystèmes forestiers. Grâce à un important effort de formation, le réseau Mycologie de l'ONF a acquis dans ce domaine une compétence reconnue dans les cercles spécialisés.

Hubert VOIRY

ONF - BET Lorraine
Animateur du réseau Mycologie

Frédéric GOSSELIN

Ingénieur de recherches
Unité de Recherche Ecosystèmes
Forestiers
Irstea, Nogent sur Vernisson

Remerciements

Cette réflexion sur les protocoles mycologiques a pu voir le jour grâce au partenariat ONF-Irstea (ex Cemagref) dans le cadre du programme GNB : financement du Ministère en charge de l'écologie (convention DEB-Cemagref, Action GNB) et financement par le programme « Biodiversité, Gestion Forestière et Politiques Publiques » (BGF) (convention 10-MBGD-BGF-1-CVS-092, n°CHORUS 2100 214 651).

⁷ Nageleisen (L.-M.), Bouget (C.), coord., 2009. - *L'études insectes en forêt : méthodes et techniques, éléments essentiels pour une standardisation. Synthèse des réflexions menées par le groupe de travail « Inventaires entomologiques en forêt » (Inv.Ent.For).* - *Les Dossiers Forestiers*, n° 19, Office national des forêts, 144 p.

Fiche technique - Biodiversité

L'évaluation des incidences Natura 2000

Contexte général

Les directives européennes « Oiseaux » et « Habitats, Faune, Flore », adoptées en 1979 et 1992, sont à l'origine du **réseau Natura 2000**, qui concourt à la préservation de la biodiversité à l'échelle européenne.

Les **sites Natura 2000** font l'objet de mesures destinées à conserver ou à rétablir dans un état de conservation* favorable les habitats naturels et les populations d'espèces de faune et de flore d'intérêt communautaire* qui ont justifié leur désignation.

A ce titre, chaque site Natura 2000 fait l'objet d'un **document d'objectifs** (DOCOB*) qui définit les objectifs de conservation ou de restauration des habitats et espèces ayant justifié sa désignation.

La gestion des sites Natura 2000 est fondée sur :

- la concertation : **comité de pilotage*** ;



La réalisation d'une piste cyclable en forêt en zone Natura 2000 peut être soumise à une évaluation des incidences

Crédit : P. Fougères / ONF

- la contractualisation : **contrats*** et **chartes*** proposés à des acteurs volontaires ;

- la prévention : **évaluation des incidences** pour éviter les dommages significatifs aux milieux et aux espèces.

Implication pour l'ONF

Une inscription au contrat État-ONF

L'implication de l'ONF en faveur de Natura 2000 est inscrite au contrat État-ONF 2012-2016 au titre d'une politique volontariste en faveur de la biodiversité, en cohérence avec la certification ISO 14001.

L'ONF est actuellement l'un des plus importants opérateurs nationaux assurant la mise en œuvre de Natura 2000.

L'objectif 1.2 de la politique environnementale

Fixé dans le cadre de l'axe 1 « Biodiversité » de la politique environnementale de l'ONF, cet objectif vise à contribuer à la constitution et à la gestion du réseau Natura 2000, en favo-

risant la signature de chartes et de contrats. Il fait l'objet de l'action B4 du plan d'action de la politique environnementale (SPE).

La conformité à la réglementation et aux engagements

L'ONF doit par ailleurs respecter :

- la compatibilité des aménagements forestiers avec les documents d'objectifs Natura 2000 ; elle fait l'objet de l'action B11 du SPE ;
- les dispositions en matière d'évaluation des incidences, objet de la présente fiche.

L'évaluation de conformité environnementale (ECE) permet de vérifier le respect de la réglementation et des engagements pris par l'ONF. Deux items concernent Natura 2000 :

- respect des engagements des contrats et chartes ;
- respect de l'obligation d'évaluation des incidences pour les opérations concernées.

N.B. :

- Le terme « activité » désigne, dans cette fiche, toute manifestation ou intervention et, par extension, tout document, programme ou projet prévoyant ces manifestations ou interventions.
- Les termes ou sigles suivis de * sont définis dans le glossaire en page 6.



Méthodes et savoir-faire

L'évaluation des incidences Natura 2000

Principes

A titre préventif, un dispositif soumet à une étude d'impact, appelée évaluation des incidences Natura 2000, toute activité susceptible de porter atteinte de manière significa-

tive à un site Natura 2000, qu'elle ait lieu dans ou hors de ce site.

L'objectif est de **ne pas dégrader l'état de conservation des espèces ou des habitats d'intérêt communautaire*** ayant justifié la désignation du site.

Les activités ne sont donc pas interdites *a priori*, mais il doit être démontré avant leur réalisation qu'elles n'engendrent pas d'effet notable dommageable par rapport à l'état initial du site.

Aspects réglementaires

Les dispositions réglementaires en la matière font l'objet des articles L414-4 et R414-19 et suivants du code de l'environnement.

Les activités soumises à évaluation des incidences figurent sur des listes :

- **liste nationale** soumettant à évaluation des incidences des activités faisant déjà l'objet d'une procédure administrative distincte de Natura 2000, l'évaluation des incidences s'ajoutant au dossier à fournir ;

- **1^{re} liste locale** établie par chaque préfet de département en complément de la liste nationale ;

- **2^e liste locale** établie par chaque préfet de département selon un référentiel national recensant les activités ne relevant d'aucune autre procédure administrative ; il s'agit

d'un régime d'autorisation propre à Natura 2000.

Cependant, à titre exceptionnel et sur décision motivée, toute autre activité peut être soumise à évaluation des incidences Natura 2000 (**mesure-filet**), si elle risque de porter atteinte de manière significative à un site Natura 2000.



La création d'une route forestière pour camions grumiers peut être soumise à évaluation des incidences

Crédit : C. Manotte / ONF

Quelles activités de l'ONF y sont soumises ?

1 - Activités soumises relevant d'une procédure administrative distincte de Natura 2000

> Inscription sur la **liste nationale** (Article R414-19)

Principaux documents concernant l'ONF :

Plans, schémas, programmes et autres documents de planification soumis à évaluation environnementale :

DRA, SRA

Documents de gestion forestière :

Documents d'aménagement

Lorsqu'ils portent en totalité ou en partie sur une forêt à l'intérieur d'un site Natura 2000, **sauf dispense prévue à l'article L11 du code forestier** (voir page 4).

> Inscription sur la **1^{re} liste locale** qui complète la liste nationale (Article R414-19)

Voir 1^{re} liste locale

Se référer à la liste arrêtée par le préfet de département.

2 - Activités soumises ne relevant d'aucune autre procédure administrative

> Inscription possible sur la **2^e liste locale** (Articles R414-27 et suivants)

Activités situées totalement ou partiellement sur un site Natura 2000 :

Création de voies forestières
pour des voies permettant le passage
de camions grumiers

Est visée la création de voies pérennes en forêt. Sont donc exclues :
- les dessertes pour le débardage ;
- l'amélioration de la voirie existante ;
- la création d'une aire de retournement sur une voie existante.

**Création de voies de défense des forêts
contre l'incendie (DFCI)**

L'amélioration d'une voirie existante est exclue.

Création de pistes pastorales
pour des voies permettant le passage des animaux
ou des camions de transport de matériels

L'amélioration d'une voirie existante est exclue.

Création de places de dépôt de bois
pour les places de dépôt nécessitant une stabilisation du sol

Les dépôts temporaires de grumes en bord de chemin, qui ont un impact localisé et réversible, sont exclus.

Création de pare-feu
pour les seuls pare-feu nécessitant des coupes rases

L'entretien périodique, notamment par débroussaillage, est exclu.

Premiers boisements
au-dessus d'un certain seuil

Le seuil est fixé dans l'arrêté préfectoral concernant la 2^e liste locale.

**Création de chemins ou sentiers pédestres,
équestres ou cyclistes**

Les aménagements de sentiers existants (balisage, bornage) sont exclus.

Activités situées dans un zonage défini par la 2^e liste locale :

Voir 2^e liste locale

Se référer à la 2^e liste locale.

> **Mesure-filet** : à titre exceptionnel (sur décision préfectorale) (Article L414-4 IV bis)

Autre activité

Toute autre activité peut être soumise à évaluation des incidences Natura 2000.

3 - Activités dispensées (Article L414-4 II)

Activités prévues par les contrats Natura 2000

Activités pratiquées dans les conditions
définies par une charte Natura 2000

> 3

Méthodes et savoir-faire

Comment doit procéder l'ONF ?

Pour l'élaboration des aménagements (processus EAM)

Les aménagements forestiers sont soumis à évaluation des incidences, lorsqu'ils portent en totalité ou en partie sur une forêt à l'intérieur d'un site Natura 2000.

Cependant, ils en sont **dispensés au titre de l'article L11 du code forestier**, si les impacts des activités qu'ils prévoient sur les espèces et habitats ayant justifié la désignation du site Natura 2000 sont suffisamment précisés et maîtrisés.

> En pratique :

1) Renseigner le tableau ci-dessous de recueil des éléments d'appréciation de la dispense de l'évaluation des incidences Natura 2000 figurant au § 2.5.8 de l'aménagement.

La prise en compte de Natura 2000 dans les aménagements fait l'objet d'une note de service (NDS-08-G-1516 en cours de révision).

2) Demander systématiquement à bénéficiaire des dispositions de l'article L11 du code forestier :

- pour les forêts domaniales ;
- pour les autres forêts relevant du régime forestier, après accord du propriétaire (délibération).

> Tableau de recueil des éléments d'appréciation de la dispense de l'évaluation des incidences Natura 2000

Habitats et espèces d'intérêt communautaire concernés	Décisions de l'aménagement pouvant engendrer un impact		Actions de préservation prévues par l'aménagement	Effets attendus et nature du bilan
	Surf ¹ (ha)	Surf ² (ha)		
				Positif / Neutre / Négatif négligeable / Négatif notable
				Positif / Neutre / Négatif négligeable / Négatif notable
				...
Bilan général	L'aménagement engendre des effets notables dommageables sur les habitats et espèces d'intérêt communautaire du site Natura 2000			oui / non
	L'aménagement est compatible avec les objectifs de gestion et de conservation définis par le DOCOB			oui / non

Extrait du plan type de l'aménagement

Surf.¹ : surface de l'habitat situé dans le périmètre de la forêt

Surf.² : surface de l'habitat impacté par la décision d'aménagement

Pour la mise en œuvre des aménagements (processus SAM)

Les coupes et travaux prévus par un aménagement bénéficiant de l'article L11 du code forestier et dont les impacts sont suffisamment précisés et maîtrisés n'ont plus à faire l'objet d'une évaluation des incidences Natura 2000.

En revanche, les interventions non couvertes par la décision administrative accordant le bénéfice des dispositions de l'article L11 sont susceptibles d'être soumises ultérieurement à évaluation des incidences avant leur réalisation.

> En pratique :

Pour ces autres activités, effectuer l'évaluation des incidences avant leur réalisation.

Pour les activités conventionnelles (processus DEV, ETU, TRA)

De nombreuses activités conventionnelles réalisées par l'ONF sont potentiellement concernées par ces dispositions réglementaires.

Dans le cadre de ses relations privilégiées avec ses clients, l'ONF doit les informer de ces évolutions réglementaires.

> En pratique :

- Dans tous les cas, vérifier que les cahiers des charges comprennent l'évaluation des incidences, lorsqu'elle est requise ;
- A défaut, proposer aux clients de la réaliser.

> 4

Comment réaliser une évaluation des incidences ?

Le contenu de l'évaluation des incidences est défini par l'article R414-23 du code de l'environnement, et précisé par la circulaire MEDDTL du 15 avril 2010 relative à l'évaluation des incidences Natura 2000.

Existe-t-il des formulaires ?

Les DREAL* et DDT* ont souvent prévu des **formulaires types d'évaluation des incidences** (simplifiée ou complète),

accompagnés le plus souvent d'un guide méthodologique sur l'évaluation des incidences.

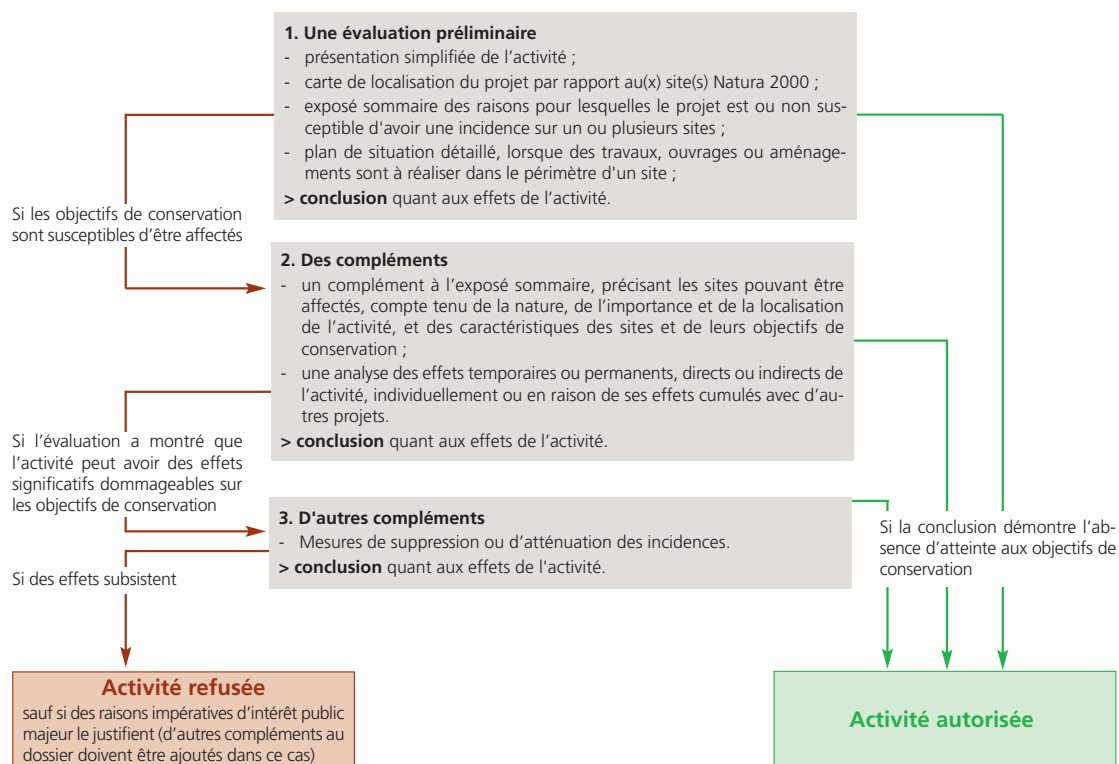
> En pratique :

se renseigner auprès des DREAL et DDT (ou consulter leur site Internet) pour savoir s'ils existent et dans quels cas ils doivent être employés.

Que doit contenir l'évaluation des incidences ?

Le document doit étudier précisément et exclusivement les incidences de l'activité sur l'**état de conservation des habitats naturels et des espèces** ayant justifié la désignation du site. Les données concernant ces **objectifs de conservation** figurent dans le DOCOB, à défaut dans le formulaire standard de données.

L'évaluation des incidences doit être **proportionnée à l'importance du projet et aux enjeux de conservation** de ces habitats et espèces.



Où adresser l'évaluation des incidences ?

> Au service habituellement compétent, pour les activités faisant l'objet d'une demande de déclaration, d'approbation ou d'autorisation ; l'évaluation des incidences constitue une des pièces du dossier de demande.

> Au préfet ayant arrêté la 2^e liste locale, pour les activités qui y figurent ; l'évaluation est adressée à l'appui de la demande d'autorisation de l'activité.

Plus d'informations

Sources externes

- > **Code de l'environnement** : art. L414-4 et R414-19 et suivants
- > **Code forestier** : article L11
- > Circulaire DGPAAT/SDSG/C2009-3038 du Ministère de l'agriculture et de la pêche du 7 avril 2009 relative à la prise en compte de Natura 2000 dans les documents d'aménagement des forêts relevant du régime forestier
- > Circulaire MEDDTL du 15 avril 2010 relative à l'évaluation des incidences Natura 2000
- > Portail Natura 2000 (Site du MEDDTL) : www.natura2000.fr
- > « Évaluation des incidences des manifestations sportives sur les sites Natura 2000, Guide méthodologique », MEDDTL, janvier 2011 (sur Internet)
- > L'indispensable vocabulaire de Natura 2000, DREAL PACA, janvier 2010 (sur Internet)
- > Le réseau Natura 2000 en France, MEDDTL (sur Internet)

Sources internes

- > **Dossier n°11 « Point sur... »** (juin 2010) : L'ONF acteur majeur de Natura 2000
- > **Intraforêt** :
 - page 908f : Natura 2000
 - page 9708 : L'ONF, acteur majeur de Natura 2000
 - page ada0 : Politique environnementale et Suivi du programme environnemental (SPE)
 - page e8ff : Évaluation de conformité environnementale (ECE)

Contact

Au Siège :

Aspects techniques :
catherine.biache@onf.fr (DERN)
regis.bibiano@onf.fr (DTCB)

Aspects réglementaires :
florent.romagoux@onf.fr (DJ)

Dans les territoires :

Référents environnement ou Natura 2000 des DT et DR

Cette fiche est éditée grâce au FEDD, conformément au plan d'action de la politique environnementale (SPE : action H10).

Direction de la publication

ONF – DERN/DTCB/DGCOM

Rédaction

Jean-Michel MOUREY
 Catherine BIACHE

Hiver 2012

Glossaire

Charte Natura 2000 : elle figure au DOCOB et permet l'adhésion aux objectifs du site, par des engagements relevant des bonnes pratiques.

Comité de pilotage : organe de concertation pour la gestion d'un site Natura 2000, mis en place par le préfet.

Contrat : il est établi entre l'État et toute personne physique ou morale, publique ou privée, propriétaire ou ayant droit, sur des terrains inclus dans le site. Il correspond à la mise en œuvre d'actions concrètes, volontaires, rémunérées ou aidées, en faveur de la réalisation des objectifs inscrits dans le DOCOB.

DOCOB : document d'objectifs qui définit, pour chaque site Natura 2000, un état des lieux, les enjeux et les objectifs de gestion, ainsi que les modalités de leur mise en œuvre.

DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.

DDT : Direction départementale des territoires.

Espèce d'intérêt communautaire : espèce en danger, vulnérable, rare ou endémique nécessitant soit la désignation de sites Natura 2000 (Zones de Protection Spéciale ou Zones Spéciales de Conservation), soit une protection sur l'ensemble du territoire national (en application des annexes IV et V de la directive Habitats).

État de conservation : situation d'un habitat ou des populations d'une espèce résultant de l'ensemble des influences agissant sur eux et pouvant affecter à long terme leur répartition et leur qualité (structure, fonctionnalité, survie).

Habitat d'intérêt communautaire : habitat en danger ou ayant une aire de répartition réduite ou constituant un exemple remarquable de caractéristiques propres à une ou plusieurs des sept régions biogéographiques et pour lequel doivent être désignées des Zones Spéciales de Conservation (ZSC).



Direction Générale
 2, avenue de Saint-Mandé
 75570 Paris Cedex 12
 Tél. 01 40 19 58 00
www.onf.fr
 Certifié ISO 9001 et ISO 14001

à suivre

Prochain numéro :

La prochaine édition sera entièrement réservée aux résultats du programme « Oiseaux des bois » conduit conjointement par la LPO et l'ONF de 2007 à 2011 (Actes du colloque des 4 - 5 novembre 2011 à Velaine-en-Haye).

Retrouvez *RenDez-Vous techniques* en ligne

Sur intraforêt : pour les personnels ONF, tous les articles sont accessibles au format pdf dans le portail de la direction technique et commerciale bois (Recherche et développement / La documentation technique) ; pour un article particulier, utiliser le moteur de recherche de la base documentaire.

Sur internet : [http://www.onf.fr/\(rubrique Lire, voir, écouter / Publications ONF / Périodiques\)](http://www.onf.fr/(rubrique Lire, voir, écouter / Publications ONF / Périodiques))

La revue *RenDez-Vous techniques* est destinée au personnel technique de l'ONF, quoique ouverte à d'autres lecteurs (étudiants, établissements de recherche forestière, etc.). Revue R&D et de progrès technique, elle vise à étoffer la culture technique au-delà des outils ordinaires que sont les guides et autres instructions de gestion. Son esprit est celui de la gestion durable et multifonctionnelle qui, face aux défis des changements globaux, a abouti à l'accord conclu en 2007 avec *France nature environnement* : « Produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité ». Son contenu : état de l'art et résultats de la recherche dans les domaines de R&D prioritaires, mais aussi porté à connaissance de méthodes et savoir-faire, émergents ou éprouvés, clairement situés vis-à-vis des enjeux de l'établissement ; le progrès technique concerne toutes les activités de l'ONF en milieu naturel et forestier, en relation avec le cadre juridique.

Sous l'autorité du directeur de publication assisté d'un comité directeur *ad hoc*, la rédaction commande des articles, suscite des projets, collecte les propositions, organise la sélection des textes et assure la relation avec les auteurs. N.B. : certaines propositions, parfaitement légitimes en soi, ne se justifient pas forcément dans *RDV techniques* et méritent d'être orientées vers d'autres revues forestières. Enfin le comité éditorial, siégeant une fois par an, est informé de cette activité et émet ses avis, critiques ou suggestions.

***Si vous désirez nous soumettre des articles
prenez contact avec :***

ONF - Département recherche
Christine Micheneau
Tél. : 01 60 74 92 47
Courriel : rdvt@onf.fr

