RenDez-Vous techniques

n°3 - hiver 2004

patrimoine
sylviculture
progrès
connaissances
économie
forêts et société
environnement
biodiversité
gestion durable

Dossier
p.15

Forêts et vents

Sécheresse et canicule 2003

p.56

Office National des Forêts

RenDez-Vous techniques

Directeur de la publication
Bernard Rey
Rédactrice en chef
Dominique de Villebonne
Comité éditorial
Yves Birot, Peter Breman, Jean-Marc Brézard, Xavier Gauquelin, Patrice Mengin-Lecreulx, Rémy Metz, Pierre-Jean Morel, Frédéric Mortier, Jérôme Piat, Bernard Rey, Jean-Louis Roque, Dominique de Villebonne
Maquette, impression et routage
Imprimerie ONF - Fontainebleau
Conception graphique
NAP (Nature Art Planète)

Crédit photographique
page de couverture
1 - FD de Senonches au lendemain de la tempête de 1999
L. Lefèbvre, ONF
2 - Plantation de chêne pédonculé de 10 ans
FX. Saintonge, DSF.
Périodicité
4 numéros par an, et un hors série
Rendez-vous techniques est disponible au numéro ou par abonnement auprès de la cellule de documentation technique, boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau
dtrd.documentation@onf.fr ou par fax 01 64 22 49 73
prix au numéro : 10 euros
abonnement : 45 euros (tarif 2003) durée 1 an (4 numéros et un hors série)
Dépôt légal : février 2004

Toutes les contributions proposées à la rédaction sont soumises à l'examen d'un comité de lecture choisi chaque fois en fonction du thème abordé.

sommaire

n° 3 - hiver 2004

3 zoom
Que deviennent les parcelles non reconstituées plus de 10 ans après une tempête ? par J. Rosa et Ch. Gauberville

7 connaissances
L'observatoire national des dynamiques de la végétation après tempête par M. Legay, H. Martin, C. Quiñones-Nadler, P. Gonin

11 pratiques
Grandes ventes d'automne : résultats et commentaires par E. Marquette

15 dossier connaissances
Forêts et vents

56 connaissances
Sécheresse et canicule 2003 : du diagnostic à la gestion par J.L. Flot

61 pratiques
Cloisonnements d'exploitation dans le cadre d'une gestion durable des forêts par Ch. Thiébaut

62 pratiques
Cloisonnements d'exploitation dans des peuplements sinistrés par les tempêtes de 1999 (FD Haye) par Th. Barateau et al.

64 pratiques
Cloisonnements d'exploitation dans des peuplements sinistrés par les tempêtes de 1999 (FD Selles et Passavant) par P. Nicolas

éditorial

Quatre années se sont écoulées depuis les tempêtes qui ont durement affecté la forêt française, et il est heureux que Rendez-vous Techniques y consacre un dossier particulier dans son troisième numéro. L'impact considérable et durable de ce phénomène climatique, sans précédent par son intensité et son ampleur géographique, a marqué profondément l'Office national des forêts et ses personnels.

Après une activité intense de gestion de la crise, l'élaboration d'une stratégie de reconstitution des forêts (dont les principes, appuyés par les réflexions du Comité scientifique de l'ONF, ont été rappelés dans le dernier numéro de Rendez-vous Techniques) et sa mise en œuvre, le temps est venu de présenter des premiers résultats tirés des enseignements et études, menés à bien à la suite des dommages observés.

Progresser dans l'intégration du risque dans la gestion forestière suppose une analyse préalable du risque, aussi poussée que possible. C'est cette démarche qui permet ensuite de fonder une stratégie rationnelle de gestion du risque par évitement ou réduction de son impact grâce à des mesures appropriées d'aménagement et de sylviculture. Dans le cas des tempêtes, cette analyse doit porter sur la connaissance de l'aléa (le vent et ses formes extrêmes) dans ses dimensions temporelles et spatiales. Elle doit prendre en compte également l'exposition au risque : facteurs géographiques, topographiques, stationnels, ainsi que l'évaluation de la sensibilité des arbres et peuplements en termes d'espèce, de structure, de caractéristiques dendrométriques. Enfin, elle doit s'attacher à prédire les dommages attendus en fonction d'un aléa de caractéristiques données, pour l'ensemble des fonctions de la forêt : production, biodiversité, faune sauvage, paysages, etc.

Le dossier « forêts et vents » dont la lecture vous est proposée, ne prétend pas à l'exhaustivité sur un sujet aussi vaste et complexe. Mais c'est un ensemble de contributions apportant de nombreux éclairages sur nombre d'éléments-clés de l'analyse du risque mentionnés ci-dessus, et qui se situent bien dans l'esprit des Rendez-vous Techniques : connaître et comprendre pour gérer par le partage du savoir et du savoir-faire.

Le président du Comité scientifique
(1998-2002)

Yves Birot

Que deviennent les parcelles non reconstituées plus de 10 ans après une tempête ?

Des observations réalisées sur des parcelles détruites par les tempêtes de 1982 et 1987, exploitées ou non et laissées en état, conduisent à un certain optimisme sur la capacité des peuplements à se reconstituer naturellement. L'exploitation des bois, ou au moins l'ouverture de voies de circulation semblent cependant souvent indispensables pour atteindre les conditions favorisant la régénération naturelle et son suivi. Ces observations ont permis de dégager des pistes, que les réseaux de suivis permettront de valider et d'affiner par station et par essence.

Au lendemain des ouragans de décembre 1999, l'ensemble des organismes forestiers se mobilise pour trouver des solutions aux différents problèmes posés par ces événements. Sous l'impulsion de la DERF (actuellement DGFAR), des travaux d'urgence sont organisés et il revient à l'Institut pour le développement forestier d'étudier l'état de parcelles anciennement dévastées par un coup de vent et non reconstituées.
Les objectifs visés sont de deux ordres : d'une part observer la reconquête forestière et d'autre part évaluer les possibilités d'en tirer partie.

Recolonisation : une réussite dans tous les cas ?

Une recolonisation effective

Aussi bien en Bretagne qu'en Auvergne, on constate une recolonisation effective sur la totalité des sites observés : 92 % des placettes ont ainsi plus de 1000 tiges/ha, toutes essences et strates confondues.
On peut nuancer ce constat général plutôt optimiste en calculant les densités non pas à l'échelle de la placette, mais à celle du faciès. Ainsi, les « vides » représentent 4 % de la surface auvergnate et 13 % de la surface bretonne.

> Toutes les parcelles ont donc présenté une dynamique de recolonisation satisfaisante en terme quantitatif, même si elles peuvent encore aujourd'hui comporter de modestes « plages » de surface non colonisées.

Des essences objectif largement implantées

Le second constat concerne les aspects qualitatifs, c'est-à-dire la composition en essences et l'origine des tiges. Là encore, les surfaces correctement régénérées restent tout à fait satisfaisantes. Ainsi, en Auvergne, seuls 3 % des placettes ne présentent aucune tige d'essences « objectif [1] » et 78 % ont plus de 300 tiges de franc-pied, non pré-existantes à la tempête et d'essences considérées comme « objectif » dans la région.
L'évaluation qualitative doit également comporter une appréciation de la forme des tiges, nous y reviendrons plus loin (Que faire dans ces peuplements ?).

> Si les essences pionnières sont particulièrement présentes aux premiers temps de la recolonisation, elles n'empêchent apparemment pas les essences plus intéressantes pour la production de s'installer en nombre suffisant.

CLASSEMENT DES TYPES D'ESSENCE RENCONTRÉS

Essences pionnières	Essences objectif	Essences pionnières objectif
alisier blanc, bouleaux, saules, sorbier des oiseleurs, tremble	chêne sessile, épicéas commun et de Sitka, hêtre, sapin pectiné, douglas, châtaignier, pin maritime, érable sycomore, merisier. [de manière très épisodique : charme, chênes rouge et vert, pin Weymouth, if, mélèze du Japon, cyprès de Lawson.]	chêne pédonculé, frêne commun, pin sylvestre.

(1) Le classement a priori des essences est précisé dans le tableau.

protocole

Au total, 86 sites ont fait l'objet d'observations (36 en Auvergne et 50 en Bretagne). Ces observations ont en fait concerné toutes les parcelles connues par les techniciens des CRPF (et de l'ONF en Auvergne) comme ayant été touchées lors des tempêtes de 1982 en Auvergne, et de 1987 en Bretagne, et non reconstituées artificiellement. La difficulté de retrouver de telles parcelles n'a pas permis de choisir et de structurer convenablement notre échantillon ; sa représentativité n'est pas mesurable, mais nous avons fait l'hypothèse qu'il illustrait correctement les situations. Il s'agit de deux régions à stations essentiellement acides (sols issus de roches granitiques, parfois métamorphiques), l'une de l'étage planitiaire (Bretagne), l'autre de l'étage montagnard (Auvergne). Les habitats largement représentés sont la hêtraie acidiphile atlantique à houx en Bretagne et les hêtraie, hêtraies-sapinières montagnardes à houx, ou à luzule des neiges en Auvergne.

Les mesures ont consisté en un inventaire sur des « bandes-transect » de 4 mètres de large, et de longueur variable (entre 50 et 100 mètres).
Deux types de données ont été notés :
- des informations liées au contexte (historique de gestion, antécédent, station)
- des paramètres dendrométriques (essences, origine, nombre de tiges, hauteurs, strates).

Deux échelles de surface ont été étudiées :
- la surface de la bande-transect, que nous appellerons placette,
- la plus petite unité possible de surface homogène du point de vue de la recolonisation (végétation ligneuse), que nous appellerons « faciès ». Ces faciès changent en moyenne tous les 20 mètres.

Dans les deux régions, une essence s'impose face à toutes les autres : le sapin pectiné en Auvergne (30 % des tiges inventoriées) et le châtaignier en Bretagne (46 % des tiges supérieures à 2 mètres) sont les essences prépondérantes. D'autres espèces et notamment le bouleau (souvent verruqueux) prennent une part significative dans les processus de colonisation. Le hêtre, les chênes (essences objectif retrouvées en majorité de franc-pied), les saules et le sorbier des oiseleurs (essences pionnières retrouvées en majorité en rejet) sont les autres principales espèces observées dans les deux régions. Au total, ce sont plus de 20 essences qui participent à la reconquête.
Dans le tableau de la succession des essences en Bretagne, on remarque que la proportion de bouleau décroît régulièrement en même temps que l'éclairement (plus faibles dans la strate basse). C'est l'inverse pour deux essences sciaphiles (hêtre et sapin) dont les proportions augmentent dans les strates basses, se mettant en position de prendre le relais à terme (le douglas semble suivre la même voie).

Premières explications à cette dynamique

La très bonne colonisation constatée s'explique par l'absence de phénomènes de blocage sur de très grandes surfaces. Si nous avons bien observé quelques faciès interdisant totalement la régénération sur certaines stations (cas rencontrés avec la fougère aigle, le framboisier et la ronce, cette dernière sur station plutôt riche), ces cas n'ont à chaque fois concerné que des surfaces unitaires plutôt restreintes (rarement plus de 60 m² sans aucun semis).

Il existe une forte hétérogénéité latérale (la physionomie change rapidement en avançant dans les parcelles) ; les reconquêtes offrent une mosaïque de faciès (y compris les quelques emprises non régénérées) de tailles unitaires très modestes (on change de faciès en moyenne tous les 20 m).

Les fortes densités atteintes par les essences pionnières n'ont pas entravé, en tout cas 15 à 20 ans après, l'installation des essences objectif. Il semble que ces essences pionnières adaptées à la colonisation de milieux ouverts aient, au contraire, souvent favorisé l'installation d'essences plus intéressantes pour la production. En effet, les pionnières (essentiellement le bouleau), recréant une ambiance forestière ombragée, ont protégé les jeunes semis en limitant par exemple la concurrence herbacée et semi-ligneuse ou l'accès à la dent des cervidés. De plus, le feuillage généralement clair de ces essences permet la plupart du temps à une lumière diffuse d'atteindre le sol.
Les seuls cas où la régénération de pionniers ne s'accompagnait pas d'essences objectif sont la conséquence des passages d'engins, où les ornières encore visibles étaient entièrement colonisées principalement par des saules. Dans de tels cas, les perturbations au sol et les dégâts infligés aux éventuels préexistants ont empêché l'installation d'essences objectif.
La prédominance du châtaignier en Bretagne s'est rapidement expliquée sur le terrain. La grande capacité du châtaignier à rejeter et à produire des semis, et surtout sa rapide croissance en hauteur lui ont permis de se « sortir » rapidement des rémanents ou des concurrents. Il est par ailleurs clair que cette espèce dominatrice homogénéise actuellement les peuplements qui aux premiers temps de la dynamique étaient mélangés.

SUCCESSION DES ESSENCES EN BRETAGNE

	Strate 1 (> 5 m)	Strate 2 (2-5 m)	Strate 3 (< 2 m)
Bouleau	34 %	21 %	13 %
Chêne	6 %	23 %	21 %
Hêtre	4 %	18 %	25 %
Sapin pectiné	Ɛ %	2 %	14 %
Douglas	Ɛ %	1 %	2 %

La très bonne colonisation du sapin pectiné en Auvergne s'explique par le comportement de l'espèce vis-à-vis de la lumière : cette essence d'ombre arrive à survivre dans des conditions de couvert très fermé, et à relancer sa croissance dès qu'une opportunité (ouverture du couvert) se présente. Ainsi, l'observation a montré que beaucoup de sapins paraissant être aujourd'hui de jeunes gaules ou perches sont en fait des arbres déjà installés au moment de la tempête. Un travail exhaustif n'a pu être fait sur ce sujet.

Quelques facteurs favorisant la régénération

La présence de tiges préexistantes sur la parcelle apparaît très favorable pour deux raisons :

- leur ombrage garantit encore, après une forte ouverture provoquée par la tempête, une certaine ambiance forestière profitable à la croissance de semis d'essences sociales ;
- lorsqu'ils sont potentiellement des semenciers viables, la régénération est bien entendu accélérée à proximité.

Pour les antécédents avec de très forts volumes sur pied (par exemple, une futaie résineuse adulte dense), l'exploitation raisonnée a permis d'éviter la présence de trop grandes surfaces où les rémanents, entassés, auraient empêché les graines d'atteindre le sol. Certains de ces tas de rémanents sont encore aujourd'hui visibles, vides de régénération, mais ne concernent heureusement que de petites surfaces.
Par ailleurs, il apparaît que les parcelles débardées sont mieux régénérées que celles ayant été totalement abandonnées (notamment en Bretagne).

Pour la Bretagne, le tableau ci-contre montre que le débardage favorise les germinations (en moyenne le double de tiges de francs-pieds) et semble démontrer que la mise en andains s'accompagne de la perte d'une partie des semences qui se trouvaient sur le parterre de la coupe.
Dans un contexte de sols acides, à humus épais (moder, dysmoder), l'effet de « griffage » des travaux de débardage a permis une germination plus efficace (destructuration des horizons organiques et diminution de l'obstacle mécanique).

ÉVOLUTION DU NOMBRE DE TIGES À L'HA SELON LES MODALITÉS DE DÉBARDAGE EN BRETAGNE

Débardage	Nombre de tiges à l'hectare			
	Brins de taillis	Brins couchés-relevés	Francs-pieds	Total
non	702	214	308	1224
avec andains	2945	10	490	3445
sans andains	1183	154	794	2131

Et que faire dans ces peuplements ?

Ces peuplements, au vu des densités, de l'origine des tiges et de la composition en essences apparaissent aujourd'hui suffisamment régénérés. Cependant, la forme des tiges composant le peuplement « objectif » est très variable. Selon la hauteur et la densité des tiges, la qualité et la vigueur des arbres d'essences valorisantes varient considérablement :

- lorsque les arbres sont encore jeunes (<7 m), leur forme est très bonne, la rectitude et l'élagage naturel sont satisfaisants, et ce d'autant plus que ces tiges ont poussé en ambiance forestière (par exemple gainées ou abritées par des essences pionnières) ;
- en revanche, dès lors que les tiges atteignent des hauteurs plus importantes (plus de 10 m) la qualité des peuplements obtenus est plus variable et des situations moins favorables peuvent être observées : il en est ainsi d'arbres déséquilibrés à houppier étriqué dans des peuplements trop denses ou encore de belles tiges nettement dominées par certains individus mal conformés, situations difficilement « rattrapables ».

Ch. Gauberville,IDF

Ch. Gauberville,IDF

Aspect de deux parcelles bretonnes 13 ans après la tempête, l'une partiellement débardée (à gauche), l'autre pas du tout (à droite).

Cet aspect qualitatif n'a pas été pris en compte lors de la prospection, mais la simple observation fait apparaître que :
- dans certains cas il est trop tard pour améliorer de manière satisfaisante les arbres d'essences objectif ;
- dans d'autres cas il devient urgent d'intervenir, et plutôt en détourage, au profit des plus belles tiges.

De plus, il y aura parfois un choix indispensable à faire parmi les essences objectif dans ces peuplements mélangés. En effet, certaines essences objectif à comportement pionnier ne sont pas nécessairement en station ; c'est le cas notamment du frêne et du chêne pédonculé.

Un dosage des essences et de la lumière doit être très souvent effectué dans ces peuplements. Les essences sans grand intérêt pour leur valeur marchande ont en effet un rôle cultural très important et doivent à ce titre être maintenues et contrôlées. Ceci est particulièrement vrai pour le bouleau et il faut être plus réservé avec le saule dont la présence est souvent le fait d'ornières ou de tassements

Quel diagnostic et quand ?

Un premier diagnostic est indispensable pour décider de l'effort d'exploitation à entreprendre. La vidange des grumes doit être au minimum envisagée. En cas d'exploitation sur sol fragile (les limons acides en particulier), des cloisonnements sont conseillés pour « concentrer » sur de faibles surfaces les dégradations au sol et l'entassement des rémanents.

Le diagnostic des potentialités de régénération doit prendre en compte :
- la présence de tiges épargnées (et même de semis préexistants pouvant, selon l'essence, tirer parti de l'ouverture du couvert),
- la présence de semenciers potentiels,
- l'accès à la parcelle pour de futurs travaux.

Ensuite, une phase d'observations d'une durée d'environ cinq années est conseillée. En effet, après analyse des hauteurs des tiges selon les comportements de croissance des essences, la recolonisation semble intervenir très souvent sur une période de 3 à 7 ans, selon les stations et les données climatiques (la dynamique plus lente en Auvergne est probablement liée à l'altitude).
Un bon accès à la parcelle est indispensable pour ce suivi.

Suite à cette période d'attente, un diagnostic de l'évolution de la parcelle est nécessaire. Ce diagnostic prendra en compte :
- la présence de recolonisation, quelle que soit la « valeur » forestière de l'essence ;
- la densité totale et par essence ;
- l'équilibre entre la hauteur et le développement du houppier des tiges d'essences à valoriser (proportion de tiges d'avenir).

Les dégâts causés par le gibier devront également être surveillés.

Quelques questions à approfondir…

Cette étude a permis de décrire des peuplements 14 et 20 ans après une tempête ; il reste cependant, des points importants à approfondir. En effet, il est à cet âge, trop tard pour reconstituer les premiers temps de la reconquête ; l'état constaté après une période de 15 ans est déjà le résultat de phénomènes de concurrence entre les espèces. De ce fait, les parcelles ont pu avoir des aspects différents et peut-être plus intéressants quelques années auparavant.

La chronologie de la dynamique apparaît très intéressante pour affiner les critères de diagnostics et déterminer les périodes « clé » durant les phases de colonisation.
Le suivi expérimental de parcelles non reconstituées artificiellement paraît donc indispensable, avec notamment comme objectif :
- d'observer le démarrage des phénomènes de colonisation,
- de déterminer les relations entre la station et la dynamique de colonisation,
- d'étendre les résultats à d'autres conditions climatiques et stationnelles,
- de caractériser les conditions où l'intervention est obligatoire pour permettre la production future d'essences objectif,
- de produire des itinéraires sylvicoles adaptés à de tels peuplements.

C'est l'objectif de « l'observatoire » que mettent actuellement en place (depuis 2002) l'IDF et l'ONF, avec l'ENGREF comme partenaire scientifique, sur les terrains dévastés par les tempêtes de 1999.
Les enseignements de ce suivi s'avéreront certainement très précieux au lendemain de la prochaine tempête…

Jérôme ROSA
Christian GAUBERVILLE
Institut pour le développement forestier, Orléans
jrosa@association-idf.com
cgauberville@association-idf.com

Bibliographie

GAUBERVILLE C., ROSA J., CORRIOL G., 2001. Colonisation spontanée de terrains forestiers affectés par une tempête : cas de la tempête des 15 et 16 octobre 1987 en Bretagne. Rapport Gip-Écofor – IDF, 24 p. + annexes

GAUBERVILLE C., ROSA J., VIDAL C., PAULUS J., MARTIN S., BECQUEY J., 2002. Colonisation spontanée de terrains forestiers affectés par une tempête : cas de la tempête des 6, 7 et 8 novembre 1982 en Auvergne. Rapport Gip-Écofor – IDF, 33 p. + annexes

MARTIN S., 2003. Colonisation spontanée de terrains forestiers affectés par la tempête de novembre 1982 en Auvergne. Mémoire de BTS, Lycée du Chesnoy – IDF, 33 p. + annexes

L'observatoire national des dynamiques de la végétation après tempête

L'importance des surfaces renversées par les tempêtes de décembre 1999, et le témoignage de nos collègues allemands confrontés aux ouragans de 1972, 1976 et 1990, ont poussé les forestiers français à s'appuyer au maximum sur la régénération spontanée, plutôt que d'engager systématiquement des reconstitutions artificielles et coûteuses. Mais si les grandes lignes des successions végétales en fonction des contextes pédo-climatiques sont aujourd'hui assez bien connues, les références précises font défaut, et bien des questions subsistent. Les tempêtes de 1999 nous ont mis au défi de chercher à combler ces lacunes.

Début 2001, un dialogue s'est instauré entre le LERFOB (ENGREF, laboratoire d'étude des ressources forêt-bois, unité mixte de recherche INRA-ENGREF 1092), l'IDF et l'ONF pour harmoniser plusieurs initiatives de suivi de la dynamique naturelle après tempête, selon différentes modalités de reconstitution extensive, y compris la non-intervention.

Le principe général était de suivre l'évolution de la végétation herbacée et du recrû ligneux dans un réseau de placettes permanentes, représentatives des situations à la fois les moins connues et les plus problématiques. On s'est d'emblée concentré sur les trouées de grandes surfaces (au moins 2 ha), qui semblent présenter les situations les plus difficiles pour la reconstitution spontanée de la forêt, et celles qui s'éloignent le plus de l'expérience courante du forestier. L'idée de tester différentes interventions légères en faveur de la régénération a été abandonnée, devant la multiplication des facteurs à étudier, et la difficulté de caractériser rigoureusement les interventions.
Deux premiers projets voient le jour : en Alsace (où la maîtrise d'ouvrage est assurée par l'ONF), et en Lorraine (maîtrise d'ouvrage LERFOB), et reçoivent dès le printemps 2001 un accueil favorable des SERFOB. L'extension de ces réseaux régionaux à une échelle nationale obtient, après bien des péripéties, le soutien du MAAPAR en juillet 2002.

Suivre la dynamique spontanée de la végétation dans de grandes trouées hors intervention

Le principe général du projet consiste à décrire périodiquement les sites pendant 10 à 15 ans. Il s'agit de caractériser en particulier :
- le sol (caractéristiques pédologiques et dégâts éventuels d'exploitation),
- le recrû ligneux,
- la végétation herbacée,
- le bois au sol (arbres entiers, houppiers ou rémanents seuls, selon les modalités d'exploitation),
- les tiges rescapées (semenciers potentiels ou amorces de régénération selon leur développement),
- le peuplement environnant.

Ces descriptions se font à des échelles emboîtées (voir figure 1) :
- l'unité expérimentale est un rectangle d'une surface de 0,5 à 0,8 ha, non enclos : cette surface est soustraite à toute intervention sylvicole pour la durée du projet (10 à 15 ans) ;
- elle contient quatre placettes de 10 m de rayon (314 m^2) régulièrement réparties (en respectant une zone tampon de 5 m de largeur tout le long du périmètre de l'unité expérimentale) ;
- chaque placette comprend trois placeaux de 2 m de rayon (12,5 m^2).

La caractérisation écologique des sites se fait à l'échelle de l'unité expérimentale (y compris une description complète du sol avec prélèvement d'un échantillon dans l'horizon A).
À l'échelle de la placette, le protocole prévoit une description du bois au sol,

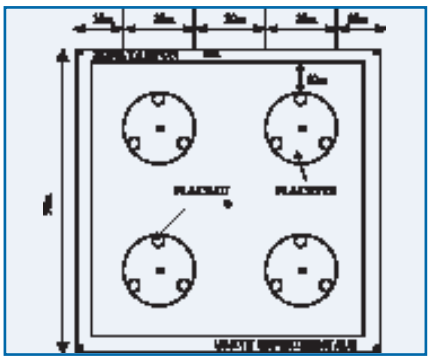


Fig. 1 : schéma d'une unité expérimentale

un inventaire des arbres sur pied, un inventaire floristique, ainsi qu'un sondage à la tarière.
À l'échelle des placeaux interviennent l'inventaire des semis ligneux (en prenant en compte leur abroutissement éventuel) et de la végétation, l'estimation de l'encombrement des rémanents ainsi que la description de l'état du sol.
Par ailleurs, 12 photos sont prises par unité expérimentale de façon systématique, du centre de chaque placette vers chacun des placeaux environnants.

Toutes ces descriptions sont réalisées selon un protocole détaillé, avec l'aide d'un logiciel de saisie sur Workabout développé par l'ENGREF, permettant de n'oublier aucune rubrique (voir photo). À titre indicatif, l'installation et la première description d'un site demandent couramment 3 hommes jours, jusqu'à 5 dans les cas les plus complexes (parcelles non exploitées, avec difficultés de pénétration et surcroît de description pour les arbres renversés).
L'application du protocole requiert une initiation, une certaine compétence dendrométrique, de solides connaissances en pédologie, et surtout en botanique, d'autant plus qu'apparaissent dans ces grandes trouées une flore de milieux ouverts avec laquelle le forestier n'est pas familiarisé.

H. Martin, ONF

Description et saisie des informations sur Workabout, domaine militaire de Souge

La constitution du réseau

Le réseau a été conçu pour représenter la diversité des situations, en considérant trois facteurs principaux :
- la zone biogéographique,
- l'essence avant tempête,
- la richesse trophique de la station (et secondairement, son alimentation en eau).

Chaque fois que cela a été possible, on a choisi deux sites pour chaque combinaison de ces trois facteurs.
Cette tâche s'est avérée particulièrement complexe au plan national, où un choix de 70 sites au maximum devait représenter la variété des situations pour toutes les régions touchées par la tempête, en dehors de l'Alsace et de la Lorraine, déjà couvertes par leur propre réseau. La définition des différentes modalités envisagées pour chacun des ces facteurs a nécessité la recherche de référentiels pertinents

RÉPARTITION DES 118 SITES DU RÉSEAU LORRAINE-ALSACE PAR ESSENCE AVANT TEMPÊTE ET SOUS-SECTEUR BIOGÉOGRAPHIQUE

Domaine biogéographique	Secteur et sous-secteur balticorhénan	Étage	Niveau trophique (1)	Hêtre	Chênes	Épicéa commun	Pins	Sapin	Total	
Continental	Plateaux calcaires jurassiques	Collines	n	13	2	1			**16**	
			b	5		1			**7**	**23**
Continental	Dépressions périvosgiennes	Collines	aa, a	6	2	1		1	**10**	
			n		2	1	1		**4**	**14**
Continental	Vosges	Collines	AA, A	8		4	3	7	**22**	
			aa, a	13			2	1	**16**	
		Montagne	AA, A	2		10	1	6	**19**	
			aa, a	2				4	**6**	**63**
Continental	Alsace	Collines	AA, A				13		**13**	
			aa, a	1	2				**3**	
			n						**0**	
			b	1		1			**2**	**18**
				51	**8**	**19**	**21**	**19**	**118**	

(1) : selon Rameau et al.

RÉPARTITION DES 59 SITES DU RÉSEAU NATIONAL PAR ESSENCE AVANT TEMPÊTE ET ZONE BIOGÉOGRAPHIQUE

Domaine biogéographique	Secteur et sous secteur	Régions/dépts concernés	Étage	Niveau trophique (1)	Hêtre	Chênes	Châtaignier	Douglas	Épicéa commun	Pin maritime	Pin sylvestre	Sapin	Total ONF	Total IDF
Continental		Bourgogne, Lorraine, Franche-Comté	Collines	aa,a		1			1					2
				b	1								1	
			Montagne	b								4	4	
Atlantique	6 Transition plateaux calcaires	Yonne	Collines	AA, A		1							1	
				n		1								1
				b										
Atlantique	4 Ligérien	Centre, Bourgogne partie, IdF partie	Collines	AA, A		1					4		3	2
				aa, a	1	3							3	1
Atlantique	5a Hte Normandie	Hte Normandie	Collines	aa, a	1								1	
Atlantique	3a Basse Normandie	Basse Normandie	Collines	AA, A	1						1		2	
				aa, a	2							2	4	
Atlantique	3d Basse Loire	Vendée	Collines	AA, A						1				1
Atlantique	1c Aquitaine	Poitou-Charentes, Périgord	Collines	AA, A			1			2				3
				aa,a			2			1				3
				n						2	1		2	1
				b	2								2	
Atlantique	1a Landes	Gironde partie	Collines	AA, A						2			2	
Atlantique	1b Pyrénées	Hautes-Pyrénées	Montagne	aa, a			1							1
Atlantique	2 Massif central	Auvergne, Rhône, Loire, Corrèze Lot	Collines	AA, A					1					1
				aa,a				5	1		2		1	7
			Montagne	AA, A					2			1	3	
				aa, a				1	1			5	4	3
				Total	**8**	**7**	**4**	**6**	**6**	**8**	**8**	**12**	**33**	**26**
													59	

(1) : selon Rameau et al.

(découpage biogéographique proposé par Rameau, Gauberville et Drapier (2000), et groupes écologiques de Rameau (1989) pour les niveaux trophiques), ainsi qu'une hiérarchisation drastique des enjeux.
À l'ONF, le recrutement des sites pour la constitution du réseau s'est largement appuyé sur le réseau des services techniques territoriaux, avec l'active collaboration d'agents patrimoniaux. Le parti a été pris de représenter plus généreusement les régions les plus exposées au retour des tempêtes.
Pour la recherche de sites potentiels en forêt privée, l'IDF a consulté le réseau des CRPF et s'est appuyé sur les coopératives, les experts forestiers… Un portefeuille important de sites propices a ainsi été constitué afin de pouvoir sélectionner les sites à traiter.
Le réseau définitif résulte d'une étroite concertation entre l'ONF et l'IDF, tenant compte du réseau existant en Alsace-Lorraine (voir tableaux et figure 2).

Avancement et perspectives

La première campagne de terrain s'achève. Côté ONF, elle a requis l'investissement à plein temps pendant un an d'un technicien, appuyé par les services techniques territoriaux.
Six sites en réserve intégrale, dont la description est soutenue par le MEDD, restent à intégrer au réseau courant 2004.
Alors que la recherche de financement reprend pour le réseau national, les données recueillies en Alsace et Lorraine sont soumises aux premières analyses.
■ Combien de sites présentent une régénération pouvant être considérée comme complète ? Quels sont les facteurs de réussite ou d'échec ?
■ Quels sont les cas où s'annonce un blocage de la régénération par la végétation concurrente ?
■ Quel est l'impact des rémanents sur la dynamique de végétation ? Sur le comportement des cervidés ?
■ Quels sont l'importance et l'impact des dégâts d'exploitation ?
Voici quelques-unes des questions que l'on ne manquera pas de se poser lors de l'analyse des données recueillies.

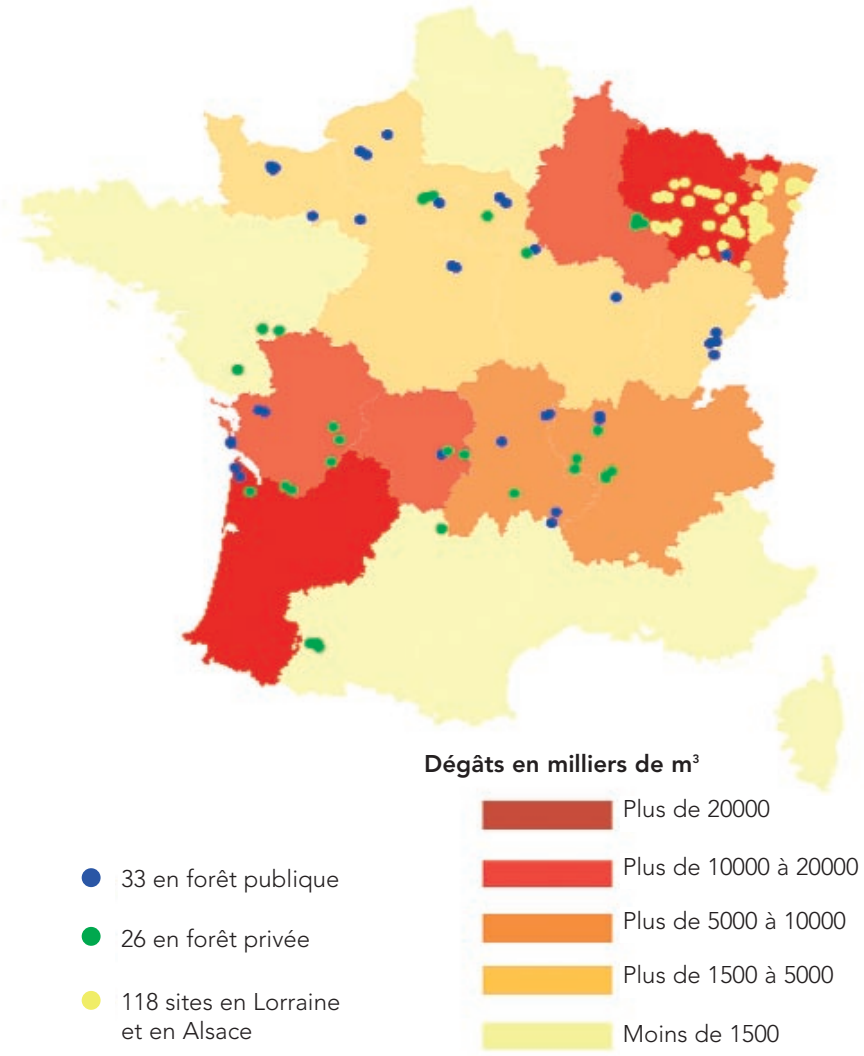


Fig. 2 : répartition des 177 sites d'étude

Myriam LEGAY
ONF, responsable du pôle recherche et développement direction technique
myriam.legay@onf.fr

Hilaire MARTIN
ONF, chargé d'étude Observatoire des dynamiques post-tempête
hilaire-martin@hotmail.com

Claire QUIÑONES-NADLER
chargée d'étude Observatoire des dynamiques post-tempête UMR INRA-ENGREF 1092, laboratoire d'études des ressources forêt-bois
nadler@engref.fr

Pierre GONIN
IDF, Toulouse
pgonin@association-idf.com

Bibliographie

RAMEAU J.C., GAUBERVILLE C., DRAPIER N., 2000. Gestion forestière et diversité biologique : identification et gestion intégrée des habitats et espèces d'intérêt communautaire. France, domaine atlantique. Paris : IDF

RAMEAU J.C., MANSION D., DUMÉ G., 1989. Flore forestière française : guide écologique illustré. 1 - plaines et collines. Paris : IDF. 1785 p.

Grandes ventes de l'automne 2003 : résultats et commentaires

L'environnement économique mondial a été extrêmement peu porteur au cours de ces deux dernières années, jusqu'à l'été 2003. Alors que de forts espoirs de reprise de l'activité étaient nés dès l'automne 2002, les incertitudes géopolitiques liées notamment à la crise irakienne sont venues une fois encore interrompre le redémarrage des économies des principaux pays développés.

Un climat général d'attentisme a prévalu durant le premier semestre 2003, gelant à nouveau les investissements. La fin rapide du conflit armé en Irak a cependant permis d'apaiser les inquiétudes quant à un enlisement de la situation et redonner un coup d'accélérateur à cette reprise tant attendue.

La conjoncture économique mondiale à la veille des grandes ventes

À la veille des grandes ventes de l'automne 2003, le retour à la normale des cours du pétrole et le redémarrage des plans d'investissement, notamment aux États-Unis, ont offert aux acteurs économiques des perspectives nettement plus favorables pour le second semestre 2003.

Le redressement de la confiance des ménages, comme de celle des chefs d'entreprise, a permis également d'envisager un bon soutien de la croissance. Comme toujours, cette croissance a été fortement marquée aux États-Unis dans un premier temps, à la faveur de politiques monétaire et budgétaire volontaristes et de la résorption des surcapacités de production notamment dans le secteur des nouvelles technologies. Elle devrait donc toucher dans une moindre mesure l'ensemble de l'Europe dès 2004.

Par contre, la dépréciation croissante du dollar face à l'euro risque de peser de plus en plus sur les exportations européennes, et la progression plus faible de la consommation des ménages en Europe limitera la croissance, même si son retour ne fait désormais plus de doute.

C'est dans ce climat d'anticipation prudente de l'activité que se sont déroulées les grandes ventes de l'automne 2003.

La situation de la filière bois en France

Pour les entreprises de la filière bois en France, la situation était nettement plus contrastée que pour d'autres secteurs d'activité plus internationalisés. Les effets des tempêtes de décembre 1999 ne sont pas complètement atténués, et de gros déséquilibres persistent.

Dans le résineux, le niveau d'activité était jugé très satisfaisant, principalement lié à l'amélioration du secteur de l'emballage et au dynamisme du secteur du logement individuel. Ce dernier reste porté par une baisse continue des taux d'intérêt favorisant l'accès à la propriété.

Cependant, la dépréciation du dollar et les difficultés d'écoulement des stocks de matière première toujours importants sont venues tempérer l'optimisme relatif des professionnels.

Dans les feuillus, le niveau d'activité était très variable selon le secteur.

Pour l'ameublement, la morosité était de rigueur et les carnets de commandes particulièrement bas, conséquence directe de l'incertitude ambiante et de la délocalisation croissante de l'outil de fabrication.

Partout ailleurs, il convenait d'être moins catégorique ; l'activité des tonneliers était bonne et la demande en produits de qualité bien présente.

Pour le chêne courant, la demande était localement jugée forte, notamment grâce au bon positionnement des fabricants de parquet.

Enfin, pour le hêtre, de nouveaux marchés ont pu être captés vers le Moyen-Orient en compensation de la disparition de ceux de l'Extrême-Orient, laissant présager un retour à la normale de la demande.

Finalement, à la veille des grandes ventes, la situation économique n'était pas particulièrement porteuse, mais l'ensemble des indicateurs laissait présager un retour à une croissance plus marquée dans les semaines ou les mois à venir. Sur les marchés du bois, les opérateurs ont annoncé leur capacité à écouler des volumes conséquents, sous réserve

que les propriétaires intègrent dans leurs estimations les évolutions économiques récentes.

Les volumes commercialisés

Les volumes de bois frais offerts à l'automne 2003 en forêts publiques représentent 6,56 millions de m³, en augmentation de 8 % par rapport à l'automne 2002 (voir tableau c-dessous). L'offre d'automne 2003 a ainsi retrouvé le niveau de 1999 (avant tempête). Le retour à une offre d'automne normale s'est fait à la demande des professionnels de la filière, dont les intentions d'achat étaient redevenues fortes.

Les volumes vendus montrent la relative concrétisation de ces intentions, avec 4,26 millions de m³. Le taux d'invendus moyen est de 35 %, certes nettement plus élevé qu'avant tempête (16 % en 1999) mais très en dessous du taux record de 4 % de l'automne 2002. La demande était bien présente, mais le maintien de certains prix de retrait sans rapport avec le marché, à la demande des propriétaires, a gonflé artificiellement le taux d'invendus.

Les principales tendances par essence et l'évolution des cours

L'environnement économique mondial n'étant pas encore stabilisé, les achats sont restés prudents. Cela s'est traduit cette année encore par une nouvelle baisse des cours, certes jugée très limitée et pas sur tous les produits, mais symptomatique de ce climat attentiste. Les opérateurs ont anticipé la reprise attendue de l'activité en s'engageant sur un volume jugé important, mais en redoutant un nouveau resserrement de leurs marges face à une concurrence internationale toujours très active.

P. Lacroix, ONF

Grumes de chêne en FD de Tronçais

Après la mise en œuvre en 2002 d'une politique de stabilisation des cours, qui s'est naturellement traduite par une baisse des volumes vendus dans un environnement globalement déprimé, la situation à l'automne 2003 a permis d'orienter la politique de mise en marché en faveur d'un approvisionnement plus important des entreprises à la recherche de bois. Les achats se sont d'ailleurs portés sur toutes les catégories de produits, contrairement à l'année précédente où étaient principalement vendus les bois de qualité.

Au terme des 85 ventes, le prix moyen (toutes essences et toutes catégories confondues) enregistre une baisse de l'ordre de 8 % par rapport à l'année précédente (année de stabilisation de cours, rappelons-le), et s'affiche à 32,2 €/m³ (contre 35,1 €/m³en 2002) (voir tableau page suivante). Cette baisse apparente masque en réalité une baisse très minime des cours (voir une stabilisation et même une légère hausse sur certains produits), puisque l'augmentation du volume vendu porte notamment sur des bois de qualité courante, à prix unitaire moindre.

Le taux moyen d'invendus restant important, les achats ont été tout de même sélectifs. Comme en 2002 mais dans une moindre mesure, les lots d'exploitation jugée difficile (avec de la pente notamment ou des distances de débardage longues) comme ceux présentant des mélanges d'essences (la présence de hêtre dans les lots de chêne, par exemple, est un handicap) ont fait l'objet d'une concurrence nettement moins active que la moyenne. De même, dans le quart Nord-Est de la

VOLUMES OFFERTS ET VENDUS (en milliers de m³)

(en 1000 m³)	Volumes offerts			Volumes vendus			% invendus		
	feuillus	résineux (volumes- tige)	Total * général	feuillus	résineux (volumes- tige)	Total * général	feuillus	résineux (volumes- tige)	Total * général
Automne 2003	2 853	2 317	6 557	1 996	1 348	4 258	30 %	42 %	35 %
Automne 2002	2 733	1 999	6 048	1 427	1 086	3 177	48 %	46 %	47 %
Automne1999	2 778	2 283	6 428	2 450	1 765	5 378	12 %	23 %	16 %

**Y compris taillis et houppiers*

PRIX MOYEN DES BOIS SUR PIED AUX VENTES D'AUTOMNE (en euros courants)
(toutes forêts relevant du régime forestier)

	prix moyen €/m³								Variation
essences volumes-tiges Ø à 1 m 30 du sol	**89**	**93**	**95**	**98**	**99**	**01 (*)**	**02**	**03**	**03/02en %**
Chêne 50 cm et + de diam.	132,2	103,7	123,0	118,1	127,3	120,4	114,2	102,4	- 10,4
Chêne 30-45 cm	39,8	30,2	37,7	34,8	37,2	32,5	29,8	27,2	- 8,7
Chêne 25 cm et -	8,2	8,2	11,1	9,1	9,0	9,3	8,2	6,6	- 19,1
Total chêne	**82,6**	**65,9**	**79,6**	**75,3**	**81,3**	**75,0**	**74,1**	**69,0**	**- 6,8**
Hêtre 40 cm et +	63,1	58,5	84,3	92,5	94,8	70,0	55,1	42,9	- 22,1
Hêtre 30-35 cm	24,7	19,5	28,2	25,8	25,3	21,0	18,3	15,4	- 15,8
Hêtre 25 cm et -	10,7	7,6	11,0	9,9	9,5	9,3	8,1	7,0	- 13,3
Total hêtre	**50,0**	**46,5**	**67,8**	**73,9**	**76,5**	**51,2**	**41,5**	**34,7**	**- 16,5**
Sapin 25 cm et +	49,7	35,5	43,8	42,1	40,9	35,4	34,0	30,6	- 9,9
Sapin 20 cm et -	6,6	4,4	5,5	5,0	4,4	5,5	6,9	4,6	- 33,7
Total sapin	**47,9**	**34,5**	**42,8**	**41,2**	**39,9**	**34,6**	**33,0**	**30,0**	**- 8,8**
Epicéa 25 cm et +	48,3	35,5	42,4	41,5	40,2	31,9	31,1	31,2	0,4
Epicéa 20 cm et -	8,8	5,6	8,4	6,4	7,9	8,7	7,5	7,8	3,9
Total epicea	**43,8**	**32,8**	**39,5**	**38,3**	**37,2**	**28,5**	**28,5**	**29,1**	**2,2**
Pin sylvestre 25 cm et +	27,7	24,8	31,9	27,1	26,2	20,7	23,1	19,7	- 14,9
Pin sylvestre 20 cm et -	4,1	4,3	6,6	5,0	5,8	4,4	4,9	4,9	0,2
Total pin sylvestre	**24,8**	**22,6**	**29,1**	**25,0**	**24,2**	**18,8**	**21,4**	**18,2**	**- 14,8**
Pin maritime 25 cm et +	24,4	19,5	25,9	23,5	26,4	26,1	27,0	22,8	- 15,6
Pin maritime 20 cm et -	8,5	5,6	11,0	8,1	8,5	6,7	8,3	6,2	- 25,1
Total pin maritime	**21,8**	**17,5**	**23,6**	**21,0**	**24,5**	**25,0**	**26,4**	**21,4**	**- 18,7**
Taillis feuillus	6,9	6,4	8,8	9,0	8,5	9,6	9,2	8,9	-3,9
Toutes essences et toutes catégories	**39,5**	**33,7**	**43,9**	**42,8**	**44,5**	**38,4**	**35,1**	**32,2**	**- 8,2**

(*) Les prix de ventes de l'automne 2000 ne sont pas significatifs, s'agissant presque exclusivement de bois chablis.

France, les ventes ont été plus difficiles qu'ailleurs notamment dans le résineux à cause des volumes importants de bois scolytés mis sur le marché, des stocks de bois sous eau restants et de l'arrêt prolongé de plusieurs unités de transformation suite à des incendies de leur outil de production.
C'est donc un constat nuancé de l'évolution des cours qu'il faut dresser à l'issue de ces ventes, avec des disparités marquées entre essences.

Le chêne
Le marché du chêne de qualité confirme sa très bonne activité, soutenue par la demande en bois de merrain. Les cours constatés enregistrent une hausse de l'ordre de 3 à 5 % par rapport à l'année précédente, mais cette catégorie de produits reste relativement rare. Confirmant la prudence des achats dans les qualités plus courantes, et malgré la bonne orientation de la demande en parquet, le prix moyen du chêne perd un peu moins de 7 % par rapport à 2002, à 69 €/m³. À noter aussi que le marché des plots est resté soutenu permettant au global de constater un taux d'invendu de 11 % de moins que la moyenne générale, soit seulement 24 %.

Le hêtre
Le marché du hêtre est en pleine mutation, après la disparition constatée des débouchés vers l'Extrême-Orient (notamment à destination de la Chine). La flambée des prix obtenus avant tempête n'est plus qu'un lointain souvenir, et le hêtre retrouve des cours connus au début des années 1990. Avec la fin des marchés de la « tranche chinoise », le hêtre perd de sa prestance, il redevient un produit courant, dont les utilisations en ébénisterie de qualité sont plus rares. De nouveaux marchés à destination du Maghreb et du Moyen-Orient prennent le relais, mais à des prix nettement orientés à la baisse pour des produits de qualité inférieure. À noter que, cette année, le marché du hêtre a été beaucoup plus animé qu'en 2002, avec une concurrence souvent très vive sur les bois moyens blancs, mais à des prix très bas. Le prix moyen du hêtre enregistre une chute de plus de 16 % en 2003, par rapport à l'année précédente, à un peu moins de 35 €/m³. La seule catégorie « 40 cm et + » perd ainsi 22 % cette année. Les cours constatés à l'automne 2003 ont maintenant atteint des niveaux plancher. Le taux d'invendu moyen en 2003 est de 35 % (contre 52 % en 2002).

Le sapin et l'épicéa
Le marché du sapin-épicéa est très variable selon les régions. Il faut distinguer la situation en Alsace-Lorraine du reste de la France. En effet, dans le quart Nord-Est, à la faveur des quanti-

RECETTES DES PROPRIÉTAIRES À L'ISSUE DES VENTES D'AUTOMNE (en millions d'euros)		
	Recette domaniale	**Recette des collectivités**
Automne 2003	80,3 M€	58,0 M€
Automne 2002	64,0 M€	47,9 M€
Automne 1999	885,1 MF soit 134,9 M€	685,0 MF soit 104,4 M€

tés importantes de bois scolytés mis en vente (conséquence directe des tempêtes de 1999), des stocks de bois sous eau encore très élevés chez nos clients et des incendies de scierie qui ont détruit cet été 2003 une part non négligeable de la capacité de production du bassin, les achats de bois frais ont été très limités, et la pression à la baisse sur le prix très forte. Ailleurs, à la faveur du très bon niveau d'activité dans le secteur de la construction et du retour à la demande sur les bois d'emballage, le marché a été jugé actif mais à des niveaux de prix confirmant la prudence des opérateurs. Ainsi, le cours moyen du sapin perd environ 9 % par rapport à l'automne 2002 à 30 €/m^3, alors que celui de l'épicéa enregistre une hausse modérée de 2 % (la baisse des cours de l'épicéa avait été plus forte relativement les années précédentes), à 29 €/m^3.
Le taux d'invendus moyen en 2003 est de 44 %.

Le pin sylvestre
Le marché du pin sylvestre est jugé plutôt actif, lié à la reprise de l'activité emballage, sans toutefois déclencher d'euphorie. Le principal handicap est le manque d'unité de transformation dédiée, et par conséquent le peu d'opérateurs intervenant sur ce marché. Un regain d'intérêt pour cette essence a pu être constaté, avec un taux d'invendus moyen de l'ordre de 34 % en 2003, contre 50 % en 2002.
Le prix moyen s'affiche en repli de près de 15 % par rapport à l'automne 2002, mais ce résultat est à nuancer. En 2002, compte-tenu du taux d'invendus exceptionnel, seuls les lots de belle qualité avaient trouvé preneur, maximisant ainsi le prix moyen constaté. Avec 18 €/m3 en 2003, le pin sylvestre retrouve les cours de l'automne 2001 (après tempête), après une hausse artificielle en 2002.

Le pin maritime
Le marché du pin maritime est également jugé actif, toujours sous l'impulsion et la vigueur de la demande espagnole ; l'activité dans le secteur du bâtiment y est particulièrement dynamique ces derniers temps. Comme pour les autres essences, il a fallu adapter le cours du pin maritime aux contraintes économiques existantes, notamment la forte concurrence de produits de substitution à bas prix issus de l'importation Sud-Américaine. En moyenne, après la hausse de plus de 5 % enregistrée en 2002, les cours perdent globalement cette année près de 18 %, à 22 €/m^3.
Pour les seules coupes définitives, la baisse n'est plus que d'environ 3 %. Il faut là encore garder à l'esprit que la composition de l'offre est différente de celle de l'année précédente, avec beaucoup plus de coupes d'éclaircie et d'amélioration vendues, pesant sur le prix moyen.
Le taux d'invendu initial de 43 %, en baisse significative par rapport à 2002, témoigne de l'intensité de cette demande sachant que, traditionnellement, les ventes se concluent au 2ème tour. En définitif, le taux d'invendus moyen oscille cette année entre 10 et 15 %.

Le bois d'industrie
Enfin, pour le bois d'industrie, la situation est variable selon l'essence. La demande a été globalement forte pour le résineux et le volume des transactions significativement plus élevé que les deux années précédentes, ce qui a permis un certain rattrapage dans les opérations sylvicoles. Pour le feuillu, la demande a été moins marquée bien que réelle avec toujours un manque d'intérêt pour le chêne, hormis quelques situations locales particulières.

Les recettes par propriétaire

L'augmentation sensible des volumes vendus a permis d'améliorer les recettes des ventes de bois, malgré une baisse moyenne des cours constatée cette année. La conjoncture économique à l'automne 2003 laissant poindre une reprise plus franche de l'activité dès 2004, notamment sur les marchés du bois, a facilité la mise en marché de volumes plus importants qu'en 2002. Par contre, le niveau de la concurrence internationale reste pesant et n'a pas permis globalement de maintenir les prix à des niveaux équivalents à ceux enregistrés en 2002 (hors chêne de qualité).
Ainsi, malgré cette baisse des prix, une hausse significative des volumes vendus a conduit à une augmentation des recettes bois des ventes d'automne (voir tableau ci-dessus).

Pour les forêts domaniales, la recette 2003 est en progression de plus de 25 % par rapport à 2002, mais reste logiquement très inférieure à celle de 1999, à – 40 %.

Pour les forêts des collectivités, la recette 2003 progresse de 21 % par rapport à 2002, mais reste très inférieure à celle de 1999, à – 44 %.

Eric MARQUETTE
ONF, responsable du pôle
produits forestiers
direction technique
eric.marquette@onf.

Dossier

Forêts et vents

Après avoir apporté un éclairage sur les grandes tempêtes qui ont touché les forêts françaises depuis le XVIe siècle, ce dossier présente une étude du comité scientifique de l'ONF sur les facteurs de stabilité des forêts face aux vents violents, et rend compte de deux recherches conduites par le département recherche et développement, sur le hêtre d'une part, le sapin et le douglas d'autre part. Enfin, nous observerons les conséquences des tempêtes sur la biodiversité, l'avifaune, et les populations de chevreuils.

- p. 16 Quatre siècles de tempêtes en forêt. Les phénomènes éoliens majeurs en France entre les XVIe et XIXe siècles, par E. Garnier
- p. 21 Stabilité sylvicole des peuplements forestiers face aux tempêtes. État des connaissances, par J.P. Schütz
- p. 29 Stabilité au vent des hêtraies : les enseignements de la tempête de 1999 dans le nord-est de la France, par J. Bock, I. Vinkler, P. Duplat, J.P. Renaud
- p. 35 Sapin et douglas face aux vents forts : comprendre les facteurs de risque et adapter notre sylviculture, parA. Angelier et D. François
- p. 40 Premier bilan des études menées en matière de biodiversité après la tempête de 1999, par J.M. Brézard et A. Lalanne
- p. 45 Reconstitution après tempête : comment réagit l'avifaune nicheuse ? par Y. Muller
- p. 50 Bilan des effets à court terme des tempêtes de 1999 sur les populations de chevreuils, par Ph. Ballon, L. Castex, O. Widmer, S. Saïd-Delcros, P. Normant

Quatre siècles de tempêtes en forêt. Les phénomènes éoliens majeurs en France entre les XVIe et XIXe siècles

P. Jarret, ONF

Forêt domaniale d'Aulnay, janvier 2000

Fondé sur l'analyse des archives produites par les anciennes institutions forestières, le présent exposé se propose d'esquisser l'histoire des grands désastres éoliens ayant touché les forêts de notre pays entre 1500 et 1900.

Qualifiée très rapidement par les médias et certains spécialistes de « tempête du siècle », la catastrophe de décembre 1999 apparaissait ainsi comme un phénomène nouveau et exceptionnel par sa violence. Face à ce jugement quelque peu expéditif, l'approche historique, parce qu'elle s'opère sur un pas de temps long, peut contribuer à nuancer le débat ouvert depuis, qu'il s'agisse du « changement global » du climat, du risque de récurrence des aléas venteux ou de la plus ou moins grande résilience des peuplements forestiers.

À la poursuite d'Éole

Nommer la tempête et ses effets sylvicoles

De manière classique sous l'Ancien Régime, les traces lexicales conservées dans les archives font mention de « météores » pour désigner l'ensemble des manifestations venues du ciel. Le terme recouvre alors aussi bien les précipitations (neige, pluie, crachin, bruine), la condensation du sol (gelée, givre, verglas) que les formes de condensation hors sol (brume, brouillard, grêle) ou les déplacements d'air qui retiennent notre attention ici. Cependant, l'usage d'un mot plus précis, l'« orvale », s'imposa aux cours des Temps Modernes pour prendre en compte les forces déchaînées du vent que sont les rafales, l'orage et l'ouragan.

Avec le renforcement de l'administration forestière impulsé par la grande ordonnance des Eaux et Forêts de 1669, apparurent d'autres notions plus familières aux forestiers contemporains. À compter de la fin du XVIIe siècle, les archives abordent la question des bois victimes des vents au travers de mentions laconiques faisant référence à des « câbles » (Ouest

de la France) ou « chablis » (Nord et Est du royaume) ou encore à des « bois dépéris ». Ambigus car ils recouvrent des sens différents selon les régions et la qualité des rédacteurs, ces termes incitent l'historien à la plus grande prudence quant à leur interprétation purement sylvicole. De facto, aucun distinguo réel ne semble différencier les « chablis » des « volis ». Même les spécialistes de l'époque contribuent à leur donner un caractère polysémique. Dans son « Dictionnaire des Eaux et Forêts » rédigé en 1769, M. Chailland recourt au seul chablis pour définir « *tous les arbres abattus par les vents ou par quelques accidents d'origine naturelle* ». Le forestier d'avant 1789 confond par conséquent sous une même appellation les sujets abattus ou renversés de ceux cassés au niveau du tronc que l'on nomme aujourd'hui « volis ». Ce n'est qu'un demi-siècle plus tard que les deux principaux types de dégâts engendrés par les vents font enfin l'objet d'une distinction sous la plume de M. Baudrillart qui, dans son fameux « *Traité général des Eaux et Forêts* », parle à propos des chablis d'arbres « *abattus, renversés, arrachés ou rompus au pied par les vents* » et cite pour la première fois les « volis » ou « volins » comme étant des sujets brisés à une certaine hauteur du pied ou bien encore ceux dont les branches maîtresses ont été arrachées.

Les pistes : un puzzle documentaire

L'ambition affichée de couvrir l'ensemble des grandes tempêtes françaises entre les années 1500 et 1900 nécessite de recourir à un large éventail de sources aussi variées qu'inattendues parfois. La quête scientifique prend souvent l'allure d'un jeu de pistes où les indices, soigneusement dissimulés, renvoient sans cesse vers de nouveaux horizons archivistiques. Seconde difficulté de taille, les hiatus chronologiques qui ne manquent pas au sein du corpus retenu. Rappelons-le, l'historien reste dépendant de ces sources qui parfois malheureusement font tout simplement défaut. L'appareil bureaucratique royal, notamment l'administration des Eaux et Forêts, ne voit véritablement le jour que dans la seconde moitié du XVII[e] siècle, ce qui explique la pauvreté documentaire de la période médiévale et des premiers siècles de l'Ancien Régime. Il serait donc tout à fait hasardeux d'affirmer que l'événement « tempête » est absent seulement parce qu'il n'a laissé aucune trace écrite…

Assez logiquement, les archives produites par les juridictions forestières depuis 1500 (grueries, verderies, maîtrises puis conservations) représentent un filon pour connaître la chronologie des tempêtes et éventuellement leur impact sylvicole. Parmi ces fonds, les registres de martelages et de chablis demeurent une source de première main bien qu'il faille attendre les années 1680 pour en disposer. Responsable sur ses deniers des arbres victimes des vents, le garde avait tout intérêt à relever scrupuleusement leur chute en indiquant leur nombre, leur taille et leur essence. Parfois même, il se livrait à une description précise du coup de vent qui avait ravagé son triage. Source méconnue, les « livres de raison » sont des livres de compte dont les auteurs - majoritairement des notables - tiennent souvent de véritables chroniques météorologiques au jour le jour. Les papiers qui émanent des intendances (circonscription administrative provinciale supérieure) puis des préfectures recèlent des richesses par l'intermédiaire des dossiers de demandes d'indemnisation ou de dégrèvements fiscaux déposés par les communautés touchées par les tempêtes. Enfin, les rapports de mer des Amirautés (circonscriptions navales d'Ancien Régime) autorisent en quelque sorte une prise en compte de la catastrophe éolienne au moment où elle touche le trait côtier puisque les marins naufragés y signalaient leur infortune en détaillant les conditions climatiques dans lesquelles elle s'était déroulée.

Les « temps » des tempêtes en France (XVI[e]-XIX[e] siècles)

Un préalable : mesurer la catastrophe

Limiter le sujet aux phénomènes éoliens majeurs pose la question des critères retenus pour les sélectionner au sein d'une documentation souvent hétérogène et imprécise jusqu'au milieu du XIX[e] siècle. Comment interpréter et hiérarchiser des témoignages multiples, avant tout descriptifs et qui ne revêtent pas forcément la même réalité selon le lieu considéré ? Rappelons d'emblée que la mémoire écrite est avant tout l'apanage des puissants dont la majorité appartient au monde de la ville. Seconde difficulté méthodologique de taille, celle des critères retenus pour qualifier tel événement de violente tempête ou même d'ouragan. Les données fournies par l'ancienne administration forestière, avec ses évocations concernant les chablis et les câbles, ne pouvaient suffire en raison des incertitudes de classification nées des seuls dégâts ligneux. Aussi a-t-il fallu recouper ces informations avec les descriptions urbaines et villageoises des sinistres qui, elles, fournissaient un paramètre supplémentaire : les dommages causés au bâti. Présentés selon une hiérarchie stricte, ils énuméraient les édifices cultuels puis publics et enfin les demeures de notables, l'habitat populaire étant totalement ignoré par les autorités royales puis républicaines. À la campagne, les doléances paysannes parlent surtout des récoltes céréalières détruites ainsi que des haies mises à mal. C'est à peine si dans le cas des coups de vents les plus violents sont mentionnés les toitures arrachées et les murs parfois détruits ! Au final, entre les procès verbaux des gardes, les flèches des églises écroulées, les ardoises de la bonne bourgeoisie qui s'envolent et les chaumières rasées, les indicateurs ne manquent pas pour reconnaître les plaies causées par Éole.

Néanmoins, que valent ces signes tangibles s'il reste difficile d'extraire des sources, parmi les « vents impétueux », les plus puissants ? Aussi est-il pertinent de proposer une conversion de toutes ces « traces » éoliennes en une métrologie unique pouvant être « lue » par des techniciens et des gestionnaires actuels. La décision fut donc prise de retenir comme grille d'analyse quantitative une méthode simple mais adaptée au contenu des témoignages

de l'époque : l'échelle terrestre de Beaufort. Très simple d'utilisation, elle autorise, à partir des effets qu'il produit, une estimation raisonnable de la vitesse du vent selon une échelle numérique comprise entre 0 et 12, les trois derniers degrés (tempête, violente tempête et ouragan) retenant particulièrement l'attention en raison de leur caractère destructeur.

Les fureurs éoliennes : chronologie et répartition

Fondé sur le dépouillement de sources archivistiques, le verdict de l'histoire dément les propos de ceux qui, au lendemain de la catastrophe de décembre 1999, insistaient sur le caractère exceptionnel et nouveau des aléas venteux. Sous l'Ancien Régime par exemple, il serait plus à propos de parler de « tempêtes du siècle » tant les éléments se déchaînent au cours de cette période en fonction des conjonctures climatiques du moment. Les cinq cents ans étudiés révèlent ainsi une chronologie faite de mouvements contradictoires marqués successivement par des offensives et des rémissions bien observables au plan national (voir tableau).

Sur l'ensemble de la période, le rythme de retour est d'environ vingt-deux mois mais il faut se garder d'en tirer des généralités car il s'agit de récurrences hasardeuses qui ne tiennent pas compte des inégalités régionales et chronologiques. Néanmoins, certaines phases apparaissent bien plus critiques que d'autres comme s'en font l'écho les papiers des Eaux et Forêts qui signalent des années à « chablis » en 1580 - 1640, 1710 - 1770 et 1870 - 1920. Si l'on ne retient que les phénomènes majeurs relevant au moins du niveau tempête dont l'impact est d'ampleur nationale, quinze événements compris entre force 10 et 12 peuvent être recensés. Pour les Temps Modernes, les XVI^{e} et XVII^{e} siècles font figure de parent pauvre - mais les lacunes documentaires y sont probablement pour beaucoup - en comparaison du dernier siècle de l'Ancien Régime qui enregistre à lui seul huit catastrophes dont cinq inscrites dans le seul créneau 1720 - 1760. Cette accélération éolienne ne relève pas du hasard, bien au contraire, et il suffit de la recouper avec le contexte climatique global pour constater qu'elle se développe en pleine phase de réchauffement accompagnée par une forte activité dépressionnaire.

Ultérieurement, l'amélioration météorologique se poursuit en dépit de quelques retours du froid engendré par le fameux « petit âge glaciaire » des XVI^{e}-XVII^{e} siècles qui n'en finit pas de mourir. Engagé dans une révolution industrielle à l'échelle de l'Europe, le siècle suivant offre une série impressionnante de violentes tempêtes et d'ouragans qui ravagent aussi bien le Nord que la partie méridionale du pays au cours des années 1842, 1869, 1872, 1876 et 1894.

LES GRANDES CATASTROPHES ÉOLIENNES NATIONALES, XVII^{e} – XIX^{e} SIÈCLE

DATE	NATURE	FORCE	LOCALISATION
22-23 septembre 1671	Violente tempête Ouragan ?	11 à 12	Estuaire de la Seine, Île-de-France, Est de la France
2 février 1701	Violente tempête	11	Normandie, Île-de-France, Champagne
Nuit du 24 au 25 septembre 1716	Violente tempête	11	Normandie, Île-de-France, Champagne
1er-17 janvier 1735	Violente tempête	11	Bretagne, Normandie, Île-de-France, Champagne et Franche-Comté
13-19 janvier 1739	Ouragan	12	France orientale : Île-de-France, Champagne, Lorraine, Franche-Comté, Alsace
Mars 1757	Ouragan	12	Sud-Ouest, Massif-Central, Franche-Comté, Champagne
1765 (20 juin, août, octobre et décembre)	Ouragans ?	12 ?	Vallée du Rhône, Champagne, Île-de-France
Fin février-début mars 1770	Tempête	10	Bretagne, Normandie, Champagne, Lorraine et Alsace
Fin février 1781	Tempête	10	Normandie, Île-de-France, Champagne, Franche-Comté
9-10-11 mars 1842	Tempête	10	Normandie, Île-de-France, Est de la France
2-3 mars et 28 juillet 1869	Violente tempête Ouragan ?	11 à 12	Sud-Ouest et Est de la France
10 décembre 1872	Ouragan	12	Normandie, Île-de-France, Centre, Sud-Ouest, Picardie, Champagne
12-13 mars 1876	Ouragan	12	Normandie, Île-de-France, Picardie, Champagne, Allemagne du centre
12-13 novembre 1894	Ouragan	12	Grand Ouest, Île-de-France, Picardie, Nord-Pas-de-Calais, Belgique

L'analyse fine de ces informations factuelles démontre l'existence de deux axes de pénétration privilégiée des vents qui n'étonneront pas les spécialistes. Les archives des maîtrises puis des conservations, en mentionnant l'arrivée des tempêtes sur les côtes de Bretagne puis leurs premiers effets sur les forêts bretonnes et normandes, prouvent l'existence d'un axe ouest-est à long rayon d'action. Après avoir dévasté les massifs d'Andaînes et d'Écouves vers quatre ou cinq heures du matin, les vents furieux touchent de plein fouet Rouen et s'engouffrent dans la vallée de la Seine en fin de matinée où ils causent de graves dommages aux forêts d'Île-de-France pour finalement viser le Nord (Picardie, Nord-Pas-de-Calais), le grand Est (Champagne, Franche-Comté, Lorraine et Alsace) et mourir en Allemagne ou en Suisse. Second axe venteux enfin, celui orienté sud-sud-ouest et qui périodiquement (1757, 1765, 1869 et 1935) balaie la vallée du Rhône pour achever sa course dans les départements orientaux de Côte-d'Or, du Jura, des Vosges et du Haut-Rhin.

Le tribut payé aux vents

L'arbre face à la tempête

Si les lignes qui précèdent font effectivement de la tempête un élément de permanence historique, il n'en reste pas moins vrai que ses effets sont amplifiés par leur localisation et les politiques sylvicoles du moment. Dans les forêts littorales, les vents les plus dangereux aux yeux des forestiers du roi sont ceux qui viennent de la mer, de l'Ouest ou du Sud-Ouest. Ils s'accompagnent en effet de précipitations abondantes au cours de l'hiver ou lors des équinoxes, qui alourdissent les cimes des arbres, augmentant du même coup la masse totale de l'arbre. Il suffit alors qu'un violent coup de vent intervienne pour que l'arbre soit renversé. Ces conditions naturelles plutôt négatives, sans pour autant dédouaner totalement les usagers indélicats et la surexploitation des industriels, ont pesé lourd dans le recul des massifs royaux avant même la Révolution.

Exemple emblématique de ce processus, la forêt de Brix dans le Cotentin, aujourd'hui disparue, occupait une position très avancée sur la mer qui la désignait aux violences des vents océaniques. Ici comme dans bien d'autres forêts côtières, l'arbre « câblis » est une réalité sylvicole dont témoignent les rapports d'expertise et les procès verbaux des commissaires royaux. Plus à l'intérieur des terres, les forêts de la région rennaise ou de Basse-Normandie confirment la fragilité des écosystèmes soumis plus directement aux actions maritimes. Ainsi, les reconnaissances et les états d'adjudication du XVIII[e] siècle montrent que le vent ne frappe pas de la même manière tous les arbres. De facto, la localisation du triage et le type d'essence déterminent un gradient de vulnérabilité.

Première observation tirée des archives, près de 70 % des chablis en forêt de plaine sont des arbres de lisière ou des baliveaux, autrement dit des sujets plus exposés aux assauts éoliens que des peuplements plus jeunes. Très majoritairement, les victimes se composent de chênes et de « fousteaux » ou de « foyards » (hêtres) de l'âge des « modernes » dont la circonférence oscille entre 60 et 120 cm, les bois moins nobles comme les bouleaux et les trembles arrivant loin derrière.

L'impact de la catastrophe ne se limite pas seulement à son effet immédiat, un choc brutal qui détruit un nombre d'arbres déterminé en fonction de sa puissance. À la tempête à proprement parler s'ajoutent ses « effets répliques », un terme délibérément emprunté à la sismologie. Conséquences directes de l'aléa naturel, ils sont régulièrement évoqués par les officiers des maîtrises dans les années suivantes quand ils parlent de ces sujets fragilisés qui finissent par s'effondrer sur leurs proches voisins ou lorsqu'ils décrivent ceux qui sont secs sur pied. Plus grave encore à leurs yeux est le problème de la reprise végétale dont la traduction paysagère est l'explosion des essences pionnières. Ce fut le cas pour la forêt d'Andaînes, touchée à plusieurs reprises par les vents entre 1705 et 1780, où la chênaie-hêtraie connut une régression très marquée.

La contestation des politiques sylvicoles

Paradoxalement, les tempêtes ont contribué dans certaines provinces du royaume de France, réputées pour leurs particularismes, à favoriser l'émergence de revendications sylvicoles tournées contre la législation en vigueur. L'Alsace et la Lorraine illustrent à la perfection ce mouvement d'opposition provinciale. À l'image des forêts du royaume, les grands massifs hérités des ducs lorrains et des Habsbourg paient un lourd tribut à Éole à compter des années 1760. Désormais, les traditionnels chablis, fruits des rigueurs du climat continental et montagnard, font place à des hécatombes forestières auxquelles les habitants ne sont pas habitués (près de 5 000 sapins sont abattus dans les forêts de la vallée de la Fecht en 1763). En matière d'Eaux et Forêts, leur rattachement à la France se traduit par l'application des principes de l'ordonnance de Colbert prise en 1669, mettant du même coup hors la loi les pratiques ancestrales. Or, si la généralisation du tire et aire favorise le chêne, essence de lumière capable de tolérer un brusque découvert, il engendre en revanche de nombreux inconvénients pour le hêtre et surtout les résineux. La coupe rase dans les sapinières et les pessières suivie de la brutale exposition des sujets conservés dans les coupes les condamne immanquablement en raison de la faible profondeur de leurs racines traçantes. En dépit des avertissements des autochtones et de certains enquêteurs royaux, les autorités firent prévaloir le modèle centralisateur jusqu'aux années 1830-1840.

Face à ce traumatisme symbolisé par les milliers d'arbres chablis jonchant le sol de leurs forêts communales, les villageois de Gérardmer et de La Bresse, imités par les citadins de Kaysersberg, de la vallée de Munster et les Strasbourgeois n'eurent de cesse de dénoncer une sylviculture inadaptée aux conditions locales. Les

mémoires et requêtes adressés pour l'occasion aux autorités mettent en lumière des connaissances forestières que ne renierait probablement pas un gestionnaire actuel (voir encadré). Leur argumentation débute par une dénonciation des « vices » des coupes réglées qui entraînent une fragilisation des sapins réservés, incapables de résister aux coups de vent. Pour eux, il ne fait aucun doute qu'à terme, c'est la régénération même de la forêt qui est en cause quand ils expliquent aux hommes du roi que les résineux « ne rejettent pas de souche » (sic !) et qu'ils nécessitent de l'ombre et de l'humidité. Convaincus que la législation colbertienne est « impraticable » dans leur province, ils proposent au souverain une nouvelle approche fondée sur une sylviculture « conforme aux localités et immémoriale ». Le jardinage ancestral qui avait assuré jusqu'au milieu du XVIII[e] siècle le maintien de peuplements plus diversifiés et irréguliers, leur apparaît alors comme étant le mode d'exploitation le moins sensible aux aléas climatiques. Une prise de conscience similaire intervint au lendemain des tempêtes des années 1900 quand on commença à mesurer les effets de la conversion en futaies pleines et de l'enrésinement massif entrepris depuis 1840.

Plan de la forêt royale de St Antoine en 1776 (archives départementales de Haute-Saône B9402) aménagée selon les principes de l'ordonnance de 1669. Les chablis s'y multiplièrent à compter du milieu du XVIII[e] siècle. En 1750, les forestiers royaux signalèrent ainsi le déracinement de 400 sapins victimes des vents violents de l'hiver

Mémoire des communautés alsaciennes contre l'ordonnance de 1669

« Pour les communautés de Kaysersberg, Kinsheim et Sigolsheim contenant des observations sur l'administration actuelle de leurs forêts indivises.

Les coupes réglées prescrites par le règlement sont impraticables dans les sapinières des montagnes, les raisons en sont sensibles : le sapin qui de sa nature ne vient pas de bouture, demande de l'ombre et de l'humidité, sa grêne ne peut germer au grand soleil aux ardeurs duquel les montagnes sont plus exposées que la plaine.

Les vents impétueux quil fait sur les montagnes saccagent, renversent et ne souffrent les baliveaux : l'expérience facheuse (ouragan) que les dites communautés en ont eu en 1763 est une preuve y ayant eu plusieurs milliers de sapinaux qui avoient esté laissés en baliveaux de déracinés.
L'unique moyen de prévenir et d'obvier aux inconvénients détaillés dans leurs précédentes observations, seroit donc le jardinage. »

Archives communales de Munster

Certes incomplet en raison du contenu parfois lacunaire des archives, le travail de l'historien démontre cependant qu'il est possible d'appréhender de manière relativement fiable l'histoire des tempêtes en France à condition de s'appuyer sur un corpus documentaire large et sur une méthodologie empruntant beaucoup aux sciences forestières et météorologiques. C'est à ce prix seulement que l'expérience historique peut se révéler « utile » au gestionnaire auquel elle propose une séquence longue des accidents éoliens et une quantification de ces phénomènes, avec les réserves d'usage qu'impose la nature des sources consultées. Plus fondamental peut-être est l'apport qui concerne la nature des peuplements exposés aux coups de vent et les modes de gestion pratiqués autrefois par les forestiers et les populations locales, autant d'éléments à verser au débat sur la durabilité des forêts du troisième millénaire. Enfin, à l'heure des restructurations territoriales de l'Office national des forêts, puisse cette contribution sensibiliser les forestiers à la nécessaire sauvegarde des archives conservées jusque-là dans les maisons forestières et les directions départementales.

Emmanuel GARNIER
centre de recherche d'histoire quantitative
université de Caen
emmanuel.garnier4@wanadoo.fr

Stabilité sylvicole des peuplements forestiers face aux tempêtes. État des connaissances

Qu'est-ce qu'une tempête ?

Un phénomène climatique à caractère très aléatoire...

Alors que les neiges lourdes sont relativement prévisibles dans le temps et dans l'espace, les tempêtes ont un effet très aléatoire car ce n'est pas tant la vitesse du vent qui est déterminante que sa structure en rafales. L'action du vent sur les peuplements se caractérise par des sollicitations très dynamiques et pulsatoires en une répétition de rafales de courte durée. Le vent agit horizontalement sur les houppiers qui réagissent comme une voilure de bateau, alors que la neige agit verticalement et de façon statique.

Les tempêtes n'ont pas toutes la même violence...

En météorologie marine, on commence à parler de tempête quand la vitesse du vent atteint la valeur 8 sur l'échelle de Beaufort (soit une vitesse moyenne de 62 km/h ou 17 m/s). On parle d'ouragan à partir du niveau 12 de l'échelle de Beaufort (soit une vitesse moyenne de 118 km/h ou 31 m/s, avec des rafales de vent pouvant atteindre 170 km/h). Tempêtes et ouragans peuvent avoir des origines différentes :

- évolution de cyclones extratropicaux liés à un fort front dépressionnaire,
- orages d'été,
- vents locaux (Noroit, Joran, Föhn),
- tornades (très rares sous nos latitudes).

Selon les vitesses de vent atteintes les effets diffèrent. Lors de tempêtes moyennes, les filets d'air au-dessus de la forêt sont réguliers. Lors de tempêtes violentes, l'écoulement devient hétérogène avec des rafales intermittentes. Les masses d'air ne se déplacent pas avec la même vitesse ni avec la même orientation. Les rafales peuvent présenter des vitesses 1,5 fois plus fortes que la vitesse moyenne de la masse d'air. La durée des rafales est en général de 3 à 30 secondes ; elles se déplacent vers des endroits différents. Selon les caractéristiques des rafales, les dégâts peuvent être très variables.

Conventionnellement, la vitesse de vent correspond à une moyenne portant sur 10 minutes. Mais aujourd'hui, les pointes de vent (ou rafales) sont également mesurées en France, avec un pas de temps de 0,5 seconde (en Suisse 1 seconde). La vitesse de pointe ou vitesse maximum, est déterminante pour souligner le caractère pulsatoire du vent.

...ni le même effet sur les peuplements

Les dégâts dus au vent se manifestent en forêts dès que sa vitesse dépasse 62 km/h : ils sont alors isolés et ponctuels. À partir de vitesses de 108 km/h, s'observent des dégâts en trouées s'étendant en moyenne sur 7 à 10 ares et allant jusqu'à quelques hectares, distribuées aléatoirement, souvent en alignement. Lors de tempêtes très violentes et d'ouragans, l'étendue des surfaces totalement dévastées peut augmenter. La somme des surfaces dévastées et la distribution de la grandeur des trouées sont de bons indicateurs de la magnitude de l'événement. Le total des surfaces touchées varie généralement entre 2 et 8 % de la surface forestière d'une région ou d'un pays.

J.P. Schütz

Forêt dévastée par Lothar en Forêt Noire

D'une façon générale, la vitesse du vent diminue à proximité du sol. Ainsi en forêt, les vitesses sont d'autant plus élevées que les arbres sont hauts. Au-dessus d'un peuplement, les masses de vent ont tendance à se mouvoir du haut vers le bas. Quand les arbres se mettent à culbuter, leur chute peut augmenter localement la vitesse du vent, de façon sensible.

Les différents types de dégâts

Les trois types de dégâts suivants peuvent se distinguer :

- bris ou volis
  - à une hauteur variant généralement de 2 à 10 m
  - au pied de l'arbre
- déchaussement ou chablis
  - avec cassure de racines à la base de l'arbre (effet de charnière, une partie de la balle des racines est déchaussée)
  - déchaussement complet de la galette sol-racine
- dégâts de torsion de la tige.

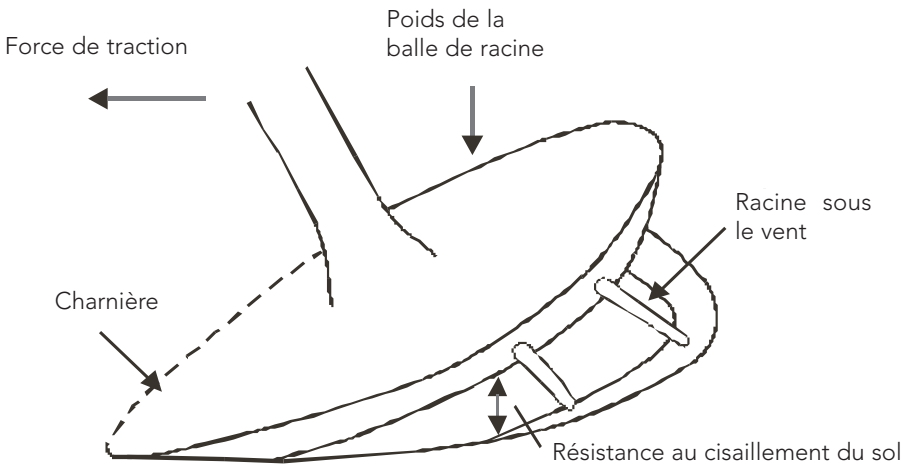
La proportion entre les arbres cassés ou déracinés varie parfois considérablement selon les essences, les caractéristiques des sols (teneur en argile, saturation en eau) et les vitesses de vent. De façon générale, chez les conifères sensibles (épicéa) la proportion de bris de tige est plus importante que chez les feuillus à feuillage caduc qui sont plutôt renversés. Dans le cas des conifères, il semble que les forces de rupture entre la cassure et le déchaussement soient relativement identiques. Ce sont donc de petites différences de propriétés des matériaux qui agissent de façon différentielle : une faiblesse locale ou des défauts du bois en cas de bris de tiges, ou la section des racines latérales puissantes voire la profondeur d'enracinement dans le cas de déchaussement.
Lors de fortes tempêtes, les arbres oscillent en mouvements de courte durée (quelques secondes). Il semble que les arbres cassent après une sollicitation de courte durée au moment où les rafales de vent atteignent les vitesses les plus élevées. Le déchaussement intervient après un temps de balancement de plus longue durée, avec un effet de fatigue des racines.

En cas de bris de tige, la hauteur de rupture varie normalement entre 2 et 8 m, bien que le fléchissement soit maximal à la base de l'arbre. Les arbres oscillant selon des lois mécaniques simples, la rupture peut être attendue vers 0,5 x la hauteur. Mais là encore, de petites différences du matériau, telles que nœuds intérieurs, bois de réaction (compression chez les conifères, tension chez les feuillus) et largeurs des cernes sont responsables finalement de la rupture.

Des dégâts de torsion, plutôt rares, peuvent se produire quand, au moment de la cassure, un arbre est soumis à des forces de rotation. Cela se produit quand le houppier est asymétrique ou bien quand il est bloqué d'un côté par des voisins proches.

Quels facteurs interviennent dans la stabilité ?

Au niveau de l'arbre
La stabilité repose aussi bien sur des caractéristiques des matériaux que sur son ancrage. Deux facteurs sont alors prépondérants :
- le contrepoids dû à la balle de terre fixée par les racines fines (l'assise),
- l'ancrage latéral par les racines maîtresses.



Concernant l'ancrage, une expérience de mise en oscillation artificielle d'épicéas de Sitka de 24 m de haut a montré que les facteurs suivants participaient au freinage de l'énergie oscillatoire :

Résistance à la traction des racines maîtresses en direction du vent	54 %
Poids de la balle de terre fixée par les racines	31 %
Effet des racines latérales sous le vent (résistance à la flexion)	8 %
Résistance au cisaillement du sol à la limite de la balle de racine	7 %

Les mesures des mouvements et déformations des racines d'ancrage lors de tempêtes, en Finlande, montrent que les racines situées au vent s'élèvent de plusieurs centimètres sous des forces de traction alors que les racines sous le vent sont soumises à des forces de fléchissement.

Ces dernières forces sont 2 à 3 fois moindres.

Au niveau d'un peuplement
L'espace libre permettant aux arbres d'osciller et inversement la présence de voisins qui freinent le mouvement constituent un important facteur de prédisposition.

Les phénomènes de dislocation des peuplements sous l'effet du vent, par effet domino, ne sont pas clairement établis. Il semble plutôt que les arbres tombent d'abord individuellement sans s'appuyer sur des voisins ; dès lors le peuplement se disloque toujours plus, permettant un balancement plus prononcé, de sorte qu'après de nouvelles rafales l'effet du réseau de stabilité collective des arbres d'ossature ne fonctionne plus. L'effet domino est vraisemblable dans les peuplements extrêmement denses. Des essais en souffleries montrent en tous cas que de petites trouées dans un peuplement ont un effet nettement plus défavorable que lorsqu'on augmente régulièrement l'espacement entre les arbres.

Des conifères 2 à 3 fois plus sensibles que les feuillus
L'occurrence majoritairement hivernale des tempêtes en Europe, fait que les conifères à feuillage persistant sont d'une façon générale plus sensibles que les arbres à feuillage caduc, du fait de l'effet de voile que joue le houppier. Ainsi, des observations des dégâts consécutifs à Lothar en Suisse montrent que l'épicéa et le sapin sont en moyenne trois fois plus touchés que les feuillus. Une étude des sapinières jardinées de l'Emmental (particulièrement touchées par Lothar), montre une vulnérabilité de l'épicéa supérieure de 30 % à celle du sapin et double de celle du hêtre. Comparativement aux autres feuillus le hêtre apparaît proportionnellement plus touché que les chênes, érables et frênes.
Dans les peuplements mélangés la stabilité est fortement améliorée. Déjà à partir de 10 à 20 % de mélange (de feuillus, de douglas voire de mélèzes) la sensibilité à la tempête des peuplements d'épicéa diminue de moitié.
Bien que la vulnérabilité des essences ne soit pas stable d'une tempête à l'autre, et varie aussi selon les régions et les stations, un classement des essences a pu être établi :

épicéa > sapin > pin >> douglas> hêtre > chêne > érables, frêne

Ce classement peut s'expliquer par une résistance à la cassure très différente selon les essences, en rapport avec les propriétés du matériau bois. Par exemple, le douglas présente un bois nettement plus résistant que celui de nombreux conifères. Les observations pratiques corroborent que les peuplements de douglas résistent mieux à la cassure qu'au déchaussement pour autant qu'il pousse sur des sols qui conviennent à un bon développement de son système racinaire.

L'ancrage en interaction avec l'essence

Différentes formes d'ancrage se distinguent, variables selon l'essence et les caractéristiques du sol, dont les éléments essentiels sont :
- le système racinaire : traçant, pivotant, ou en cœur (fasciculé),
- la densité de fixation du sol par les racines fines,
- les dimensions de la balle des racines (largeur et profondeur),
- les propriétés du sol qui agissent sur la profondeur de l'enracinement fin.

Le système racinaire en cœur est le plus performant et donc le plus stable, parce qu'il concilie le mieux profondeur et extension latérale des racines, formant ainsi une masse compacte de la balle qui agit comme contrepoids. Le système traçant est le plus performant quant à l'effet d'ancrage latéral grâce à quelques racines maîtresses bien positionnées (contre le vent) et avec un bon angle d'insertion. Dans ce cas, la profondeur de l'enracinement est assurée par le développement de racines secondaires verticales (puisards). D'après les observations menées dans les sapinières jardinées de l'Emmental, les sapins sont tout autant déracinés que les épicéas, bien que leur système racinaire (pivotant) soit différent. Par contre quand il y a cassure, l'épicéa casse plus fréquemment que le sapin. C'est apparemment la profondeur physiologique du sol qui définit la profondeur de pénétration des racines fines.

L'ancrage en grande partie façonné par le sol
Le sol exerce une influence déterminante (plus que celle du système racinaire) qui peut gommer l'effet de l'angle d'insertion et de la pénétration des racines. Sur les sols superficiels ou hydromorphes, même un enracinement à tendance pivotante reste superficiel.

Le poids de la balle de racine peut être 8 fois plus élevé que celui des parties aériennes de l'arbre. Cela dépend principalement de la densité de fixation du sol par les racines fines, donc de l'intensité de colonisation du chevelu largement liée à la mycorrhization. De façon générale la densité du chevelu diminue très rapidement de la surface du sol en profondeur. Des observations sur des galettes de hêtres et de chênes adultes renversés par Lothar, sur des terrasses fluviales près de Bremgarten (Suisse) montrent que les balles de racines des hêtres sont nettement plus larges que celles de chênes, avec pratiquement pas de différence dans la profondeur de l'enracinement.

Enfin, l'effet des conditions au moment de la plantation des jeunes arbres est controversé. Cependant, toute condition d'installation où les racines restent définitivement comprimées ou fortement dissymétriques peut être un facteur très défavorable de stabilité (ex. : plantation sur ados, plant en paper-pots).

Les conditions de sol et de stations, composantes de la stabilité

L'état du sol joue un rôle primordial. En effet, sa texture et ses conditions de saturation en eau peuvent considérablement modifier les composantes de la stabilité évoquées précédemment.

Sur les sols asphyxiés, la part des déracinés augmente. En revanche, sur les sols à perméabilité normale, à bonne cohésion (terres brunes) ou sur un sol gelé, les arbres cassent généralement.

Les sols sablonneux amortissent les mouvements des racines, alors que sur sols tourbeux ou saturés en eau, les forces de cohésion sont si faibles que les arbres peuvent être déracinés à de faibles vitesses de vent. Quand l'arbre penche au-delà de 30°, il tombe sous son propre poids.

Enfin, les mouvements de fluctuation des racines peuvent exercer un effet de battement sur le sol. Quand il contient beaucoup d'argiles et est saturé d'eau, il peut perdre sa cohésion et passer à l'état plastique voire liquide. Des observations faites pendant des tempêtes décrivent des masses de boue liquide projetées en l'air jusqu'à plusieurs m de hauteur. On peut parfois même observer un rond de boue liquéfiée restant à la périphérie de l'emplacement de la zone d'enracinement.

Plus largement que l'effet du sol, on peut également considérer l'effet de la station sur la vulnérabilité. Les relevés INRA-ONF-STIR-NE dans les hêtraies du quart Nord-est de la France confirment l'effet de la superficialité du sol sur les chablis, particulièrement sur substrat calcaire. L'inadéquation de certaines essences sur certains sols peut expliquer des dégâts.

J.P. Schütz

Arbre ayant provoqué par son battement racinaire une liquéfaction du sol et des remontées de boues argileuses en priphérie de la balle racinaire

Les facteurs de prédisposition et facteurs de risques

Âge et hauteur, principaux facteurs de risques

Outre l'essence, qui est incontestablement le facteur de prédisposition le plus manifeste, plusieurs études démontrent un effet de la hauteur et de l'âge des peuplements.

L'analyse des dégâts de la tempêtes Viviane (1990) pour l'Allemagne sur l'épicéa a permis de classer les facteurs de prédisposition dans l'ordre suivant :

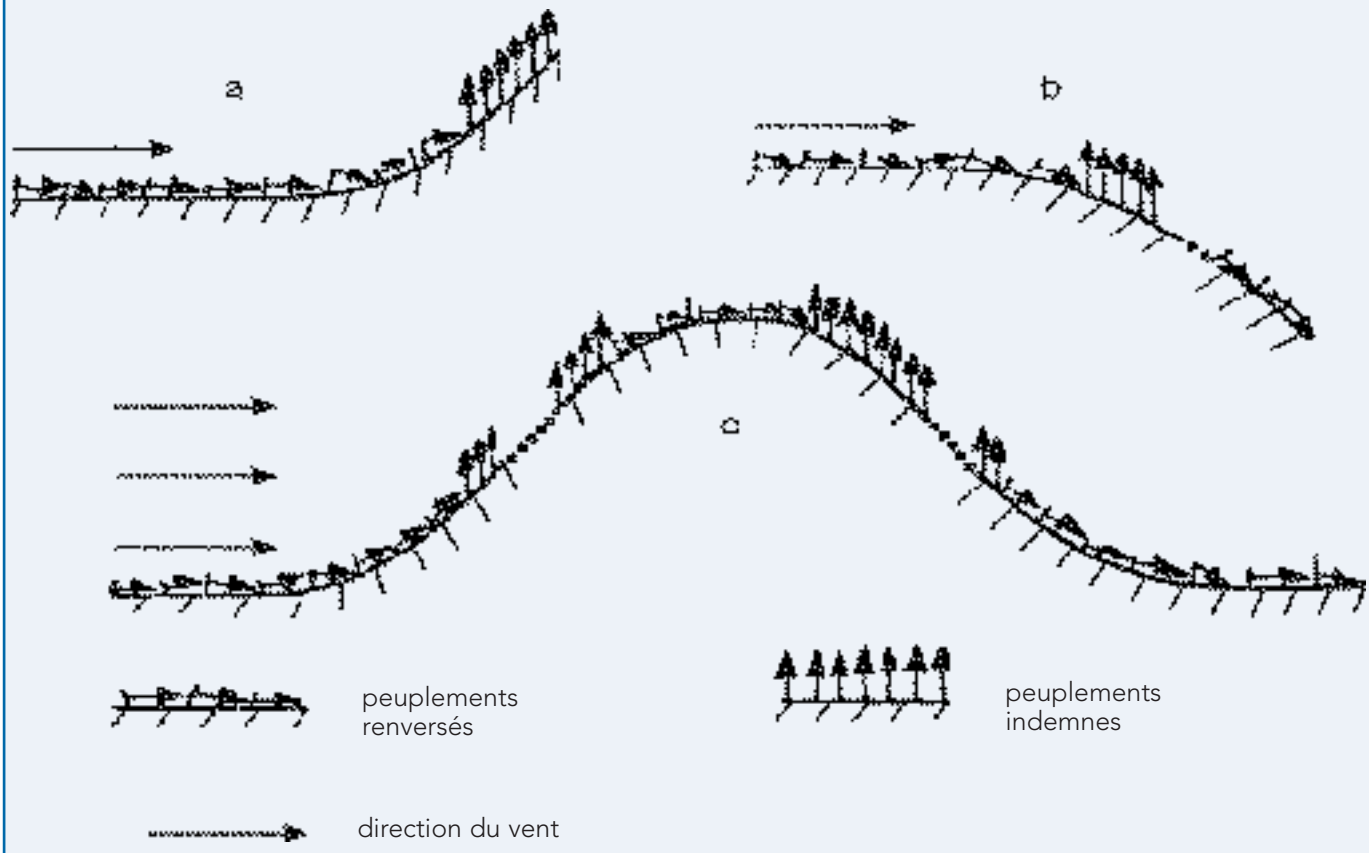
- hauteur des peuplements
- conditions de sol (notamment saturation en eau)
- laps de temps depuis la dernière éclaircie
- vitesse du vent.

Des observations après Lothar en Allemagne du Nord et en Suisse démontrent que pour les peuplements adultes (diamètre supérieur à 30 cm) l'augmentation de la sensibilité au tempêtes avec la hauteur n'est pas très marquée et ne ressort pas de façon significative dans les analyses statistiques.

Zoom sur quelques facteurs prédisposants secondaires

Topographie

La forme du terrain peut exercer une influence : les pentes orientées au vent, les zones sommitales et celles situées un peu derrière les crêtes sont prédisposées aux dégâts. Cela semble dépendre d'effet de buse et des écoulements turbulents :



a : bas de pentes ; b : arrière de crêtes ; c : crête

Effet de la forme du terrain sur la sensibilité aux dégâts de tempêtes d'après Hütte (1967)

Conformation des lisières

L'effet de la conformation des lisières sur l'écoulement des vents et sur les dégâts est bien connu. La lisière fait effet de barrage aux filets de vent ; ils viennent buter contre elle et créent devant un coussin d'air qui repousse les filets de vents au-dessus du manteau forestier ; cela conduit à la formation de turbulences dont l'effet semble le plus marqué à 2 à 3 longueurs d'arbres derrière la lisière. On observe souvent des lisières restées intactes après une forte tempête, alors que les peuplements situés derrière sont dévastés. Les lisières plus perméables et plus structurées atténuent l'effet de barrage et améliorent la forme de l'écoulement d'air, ce que démontrent des essais en soufflerie.

D'autres facteurs prédisposants, tels que la topographie, ou la conformation des lisières s'avèrent exercer une influence statistiquement significative mais de moindre importance explicative (voir encadré). La présence de trouées de plus d'une longueur d'arbre apparaît être un facteur déterminant de déclenchement de la rupture de peuplements.

Finalement, c'est essentiellement le choix des essences et un bon régime d' éclaircies qui représentent les facteurs les plus déterminants de stabilité.

Effet des éclaircies

Une sensibilité aux tempêtes accrue, au moins temporairement

Les arbres oscillent différemment selon leur caractéristiques mécaniques individuelles. Cela conduit à des oscillations d'amplitude et de sens différents. L'énergie oscillatoire est diminuée par l'amortissement par les arbres voisins (effet de freinage), le mouvement de battement des branches, et la résistance mécanique de la tige. Des essais de mise en oscillation d'épicéas de Sitka (de 23 ans) en Ecosse ont permis de définir la contribution de ces différents facteurs à l'amortissement de l'énergie : 50 % pour le freinage par les voisins, 40 % pour le battement des branches et 10 % pour les propriétés mécaniques de la tige. La mise à distance des arbres lors des éclaircies devrait alors exercer un rôle tout d'abord défavorable, car elle supprime le freinage par les voisins. Ainsi, immédiatement après une intervention d'éclaircie forte, le balancement des arbres peut augmenter dans une proportion de l'ordre de 2 à 3 fois. Dans les années qui suivent des éclaircies vigoureuses, la sensibilité aux tempêtes augmente donc.

Des effets à court terme et long terme contradictoires

Pour bien comprendre l'effet des éclaircies, il faut analyser conjointement deux effets qui s'opposent et qui peuvent expliquer certaines divergences d'opinions à leur propos :

- à court terme, la mise à distance et l'ouverture du couvert ont des conséquences négatives,
- à long terme, la reconstitution de l'appareil foliaire et l'extension des houppiers, ainsi que le développement racinaire conduisent à améliorer la forme de la tige et la qualité du système d'ancrage et d'assise dans le sol.

L'effet positif des éclaircies sur la forme de la tige est incontesté, encore que le coefficient d'élancement h/d diminue naturellement avec l'âge des peuplements. Il n'atteint des valeurs critiques (> 85 pour l'épicéa et > 140 pour le hêtre) que dans les jeunes peuplements (perchis). De plus, l'éclaircie conduit à améliorer aussi bien le h/d.

Le facteur h/d est à considérer aussi au niveau du peuplement, même si en principe il caractérise des propriétés de défilement individuelles. Au niveau de la stabilité collective, un bon défilement, consécutif à un bon régime d'éclaircie, représente une bonne garantie de stabilité.

À ces observations s'oppose le fait qu'en cas de dégâts majeurs (effondrement de peuplement) la stabilité collective est battue en brèche progressivement. Elle dépend essentiellement d'un réseau d'arbres bien charpentés constituant l'ossature du peuplement. L'élimination d'arbres interstitiels de ce réseau n'a pas d'effet majeur sur le maintien du peuplement. Mais dès que les arbres d'ossature commencent à culbuter, la stabilité se dégrade très rapidement. Un peuplement convenablement éclairci, dès son jeune âge, avec une bonne distribution des arbres de charpente, résistera mieux au phénomène de délabrement.

Les principes d'éclaircie se justifient donc d'abord par le fait qu'ils combinent sélection, croissance et bonne forme des tiges.

Des effets différenciés selon la sensibilité des essences

Pour les peuplements et les essences particulièrement vulnérables (épicéa et sapin), on peut proposer aujourd'hui des concepts d'éclaircie moins traumatisants, reposant sur le réseau de stabilité que constituent certains arbres-clé. Il s'agit d'éclaircies situatives où l'on cherche un compromis entre les effets bénéfiques et ceux de déstabilisation. Quand on intervient tôt, dans les perchis, il est possible d'intervenir ponctuellement de façon forte, mais sans conduire à une forte ouverture de l'ensemble du peuplement. Il faut pour cela favoriser un nombre restreint d'arbres, de statut social convenable ayant tendance à dominer naturellement.

Pour les espèces sensibles aux blessures et au compactage du sol par les machines, comme l'épicéa, la précocité des interventions devient déterminante, à tel point qu'à partir d'un certain âge, il est réaliste de considérer que les effets négatifs des interventions dominent, et qu'il vaut mieux y renoncer. Dans le cas du hêtre (étude dans le quart Nord-est), l'influence de la dernière éclaircie n'est que faiblement explicative.

Pour des espèces comme le hêtre ou le chêne et de façon générale les feuillus qui sont moins sensibles aux pourritures et qui réagissent encore à un âge avancé aux interventions, l'effet d'un bon régime d'éclaircie reste incontestable, et le point critique à partir duquel l'éclaircie apparaît néfaste est atteint à un âge nettement plus élevé.

En conclusion

Dans tous les cas il s'agit de bien respecter le principe de précaution par des interventions suffisamment précoces et une technique de travail respectueuse de l'intégrité du sol et des arbres restants.

Peuplements réguliers et irréguliers face au vent

Le facteur le plus déterminant demeure la résilience, c'est-à-dire la capacité du peuplement à se reconstituer rapidement. Une futaie jardinée n'est jamais totalement détruite, puisque elle contient tous les stades de développement de la forêt. En forêt jardinée seulement 10% des tiges du sous-bois sont écrasées par la chute d'arbres due au vent. Les perches en devenir restent en majorité indemnes. La résilience de la futaie jardinée est donc un atout tout à fait remarquable dans la mesure où le sol reste couvert et les stigmates de dégâts se cicatrisent assez rapidement.

Quel comportement adopter face au risque de tempêtes ?

Avant de définir toute stratégie, les risques doivent être estimés, et l'aléa analysé. La question de la période de récurrence (ou durée de retour) des événements est déterminante notamment quand il s'agit de définir des stratégies sylvicoles.

Le risque de retour d'une tempête en un point donné est très faible
Les estimations de retour d'événements mesurées au niveau macrorégional et le risque de leur effet au niveau local sont très distincts. Dans le cas de l'ouragan Lothar, au niveau local, seuls environ 5 % de la surface forestière française ont finalement été touchés en totalité. Dans le plateau Suisse, 3 % du volume sur pied ont été concernés, et 2 % de la surface dévastés seulement, en ne considérant que les parties complètement ravagées. Cela tient au fait que les rafales (ou couloirs de rafales) de vent et donc les dégâts se distribuent de façon très aléatoire et imprévisible.

Pour la sylviculture, c'est le risque au niveau du peuplement qui est déterminant. Or celui-ci est considérablement plus faible qu'au niveau de la grande région : le rapport entre eux est de 1/10 à 1/20. Ainsi, le risque qu'un même peuplement soit revisité par un événement de la sorte se trouve dans une fourchette de l'ordre de 120 ans pour l'épicéa et 300 ans pour le hêtre. C'est donc pour les feuillus en tous cas bien au-delà de la durée normale de production.

La magnitude de l'événement se mesure à ses conséquences
Seuls des ouragans, affectant des surfaces importantes et conduisant à des dégâts dépassant de plus de 2 à 3 fois une exploitation annuelle normale induisent des conséquences dramatiques au niveau de la gestion des exploitations, du marché des bois et de leur écoulement. Les tempêtes moyennes conduisent d'abord à des dégâts isolés dont les effets se résorbent sans conséquences persistantes. Ils sont donc négligeables sur le plan de l'aléa.

L'influence de changements climatiques sur la période de retour des tempêtes en question

Les observations statistiques de la fréquence de vents forts et violents, à l'échelle Beaufort 7 et 8, pour la station de Zurich, portant sur les derniers 150 ans, montrent une tendance plutôt en diminution. L'analyse historique des dégâts montre qu'il y a eu dans le passé des événements venteux apparemment plus violents encore que l'ouragan Lothar. La discussion de l'action des gaz à effet de serre sur les modifications climatiques et d'un effet supposé sur l'augmentation des échanges énergétiques à la surface du globe laisse envisager une augmentation des risques de tempêtes. En fait les avis des experts sont très partagés sur cette question. On admet assez généralement que les trajectoires de fortes tempêtes devraient se déplacer plus au nord.

Les stratégies sylvicoles sont-elles efficaces ?
Les stratégies sylvicoles n'apparaissent efficaces que pour des tempêtes de moyenne importance. Pour des événements exceptionnels, on reste impuissant. Ainsi, quand la vitesse du vent dépasse 108 km/h, dans le cas de l'épicéa, les facteurs biomécaniques, de station et de sylviculture n'ont plus grande incidence.

De plus, à vitesse de vent équivalente, les effets de différentes tempêtes peuvent être très différents. La comparaison des caractéristiques des tempêtes Viviane (1990) et Lothar (1999) le démontre. En Suisse, l'ouragan Lothar, approximativement de même magnitude que Viviane, a eu globalement des effets nettement plus néfastes que ce dernier. La durée de la tempête et surtout le caractère pulsatoire des rafales semblent expliquer des différences notables de dégâts.

Stratégies d'évitement
L'une de ces stratégies consisterait à abaisser systématiquement la durée de révolution pour minimiser les dégâts. Elle apparaît cependant peu envisageable au niveau du peuplement. Pour cela, les exploitations devraient augmenter sur l'ensemble de la surface, alors qu'une faible proportion risque d'être touchée !

La question de l'augmentation des risques en fonction des essences est bien plus pertinente. Le choix des essences au moment du rajeunissement doit évidemment tenir compte de leur bonne adéquation aux conditions édaphiques et stationnelles.

Le principe du mélange représente également une stratégie préventive fort efficiente. Déjà un mélange de 10 à 20 % d'essences stables améliore de façon significative la stabilité. Nous entendons ici les mélanges dits horizontaux (peuplements de même âge ou approchant). Le choix des mélanges voire de la structure des peuplements à rechercher est délicat. Dans les peuplements de feuillus, l'irrégularité trop fine au sens d'une futaie jardinée pied par pied ne représente pas une panacée en terme de multifonctionnalité (à l'inverse du cas des résineux), surtout en raison des critères de production de bois, c'est-à-dire de l'effet généralement défavorable de l'irrégularité sur les critères de qualité des arbres et du bois. L'irrégularisation trop fine des peuplements de feuillus s'avère de surcroît difficile à réaliser, et conduit à des problèmes de stabilité en phase de conversion.

Néanmoins, ces stratégies d'évitement doivent être envisagées dans les régions les plus exposées (façade Atlantique ouest, parties sommitales), mais aussi dans les zones à risques et pour les essences sen-

sibles (épicéa, sapin), où des durées de production élevées représentent un risque non négligeable dont il faut tenir compte.

La question du choix des essences apparaît être la décision sylvicole la plus pertinente.

Les stratégies d'évitement ne représentent pas la meilleure façon de répondre aux aléas. La question d'une influence de tempêtes majeures sur les principes de gestion de la forêt et notamment les durées de révolution ne représente pas le problème principal et doit céder le pas sur d'autres réflexions plus déterminantes (essentiellement le rajeunissement à temps, et la maîtrise des peuplements surannés).

Stratégies de résistance

Une des questions les plus importantes au sens des **stratégies de résistance** est de savoir si le fait de favoriser la forme des tiges par le biais des interventions d'éclaircies ne se fait pas au préjudice de la stabilité, car l'éclaircie conduit immédiatement après son action à une déstabilisation du peuplement.

L'éclaircie, facteur de risque à court terme et surtout dans les peuplements âgés

L'éclaircie dans les peuplements âgés est d'abord un facteur de risque, en raison de l'ouverture de la canopée et de l'augmentation du balancement des arbres. Le risque se maintient quelques années après les interventions et dépend de leur intensité. Concrètement, si l'éclaircie ne s'est pas faite suffisamment tôt, il vaut mieux renoncer ou éviter d'intervenir trop vigoureusement, au moins pour les espèces sensibles, comme le sapin ou l'épicéa. Dans ces cas, il vaut mieux rechercher des interventions modérées et surtout peu traumatisantes pour la stabilité.

Éclaircie et système racinaire

L'effet de l'éclaircie sur l'ancrage et l'assise due à la balle de terre est assez mal connu. La balle de terre est moins fortement déterminée par la profondeur d'enracinement que par les dimensions d'extension latérale. La profondeur d'enracinement fin dépend surtout des caractéristiques du sol et de la densité des racines fines qui diminue très rapidement depuis la surface. La sylviculture n'a donc pas grande influence sur ce facteur. On peut finalement admettre que des arbres mis à distance par le biais d'éclaircies précoces présentent une meilleure stabilité. Cela permet aux racines des arbres de coloniser une portion plus étendue de sol et ainsi de fixer une balle de terre plus importante qui agit comme contrepoids.

Le point essentiel est finalement l'état de santé du système racinaire principal. Il dépend surtout du vieillissement physiologique ainsi que des effets amplificateurs de la station quand celle-ci est défavorable.

En conclusion : quels comportements sylvicoles adopter face au risque de tempête ?

Autant que la hauteur ou l'âge des arbres, c'est la bonne conformation des tiges et la bonne santé du système racinaire qui déterminent la stabilité, notamment pour les essences sensibles comme le sapin ou l'épicéa.

C'est donc surtout les peuplements surannés d'espèces sensibles et sur les stations prédisposées qu'il faut rajeunir en priorité, avant de d'évoquer toute réduction généralisée des durées de production.

Le choix des techniques de rajeunissement doit tenir compte de la sensibilité au vent des essences, notamment la grandeur des coupes et la façon de les faire progresser.

Les inconvénients liés aux gros bois (pourriture, cœur coloré) sont à liés à des problèmes de santé dus au vieillissement. Cela vaut d'autant plus que la tendance vers des augmentations significatives d'accroissement a pour effet d'augmenter le volume de bois et donc la vulnérabilité. Cela conduit à proposer des sylvicultures actives qui visent à produire des bois jeunes.

Une **sylviculture dynamique** permet de réduire le capital sur pied et donc de manière générale le risque d'amoncellement de bois en cas de tempête. Elle permet également de réduire la durée de production et d'augmenter la stabilité et la qualité des bois. Cela reste en règle générale un objectif prioritaire même si un tel concept ne peut pas se mettre en place rapidement.

Tout cela démontre que le rajeunissement à temps est plus important que le rattrapage d'éclaircies. Cela vaut tout particulièrement pour les stations sensibles, hydromorphe ou à faible profondeur physiologique.

Jean-Philippe SCHÜTZ
école polytechnique fédérale
de Zurich
schuetz@fowi.ethz.ch

Cette synthèse, produite par le comité scientifique de l'ONF, a été réalisée par le groupe de travail « stabilité », qui réunissait les membres du comité scientifique de l'ONF (J. Ranger, D. Guinard, J.-Ph Schütz, Y. Birot) et J.-F. Dhôte, B. Jacquemin, I. Planchais, B. Pilard-Landeau, Y Bastien, E. Lacombe.
Remerciements à Anne Laybourne qui a largement contribué à son adaptation.

Une bibliographie complète peut être obtenue auprès de l'auteur.

Stabilité au vent des hêtraies : les enseignements de la tempête de 1999 dans le nord-est de la France

Confrontées à un phénomène climatique exceptionnel, les hêtraies françaises ont payé un très lourd tribut en décembre 1999, et suscité de la part du monde forestier de fortes inquiétudes pour l'avenir. Dresser un bilan de cette catastrophe en Lorraine et dans les départements voisins, et des facteurs qui en ont déterminé l'ampleur, proposer des itinéraires sylvicoles aussi adaptés que possible pour réduire la sensibilité au vent des hêtraies de demain, tel était l'enjeu de deux études menées conjointement par l'ONF et l'INRA dans les hêtraies du nord-est de la France.

Essence traditionnellement réputée « sensible au vent », le hêtre n'a évidemment pas été épargné par la tempête de 1999, exceptionnelle tant par la vitesse des vents enregistrés que par l'étendue géographique des dégâts. Rien qu'en Lorraine, le volume de chablis de hêtre s'est élevé à 6,8 millions de m^3 (dont 85 % en forêt publique), soit l'équivalent d'environ dix récoltes annuelles. Devant une telle catastrophe, c'est d'abord un sentiment d'impuissance et de résignation qui a prévalu, le caractère « exceptionnel » de cette tempête mettant en arrière plan d'éventuels facteurs aggravants, d'ordre stationnel et sylvicole. Pourtant, l'analyse de la diversité des dégâts observés, confrontée à de larges variations dans les niveaux de vent observés et les contextes sylvicoles et stationnels rencontrés, permettait d'espérer améliorer les connaissances concernant la sensibilité au vent de la hêtraie. À la différence des essences résineuses pour lesquelles on connaît bien le rôle aggravant de la hauteur, de la densité et de l'élancement des peuplements, ainsi que l'élévation du risque dans les années suivant les éclaircies, les facteurs influençant la stabilité des feuillus sont aujourd'hui encore presque méconnus. Pourtant l'enjeu est de taille, les interrogations sur l'avenir de la hêtraie paraissent bien légitimes : certaines structures sont-elles mieux « armées » que d'autres pour résister au vent ? Comment intégrer au mieux le risque de chablis dans les itinéraires sylvicoles actuellement préconisés pour la hêtraie ?

Cet article dresse le bilan des principaux résultats d'un travail consacré aux hêtraies du quart nord-est de la France, qui tente de mettre en relation les caractéristiques stationnelles et sylvicoles des peuplements avec le niveau de dégâts qu'ils ont subi en décembre 1999. Deux études ont été menées successivement.

■ La première cherche à préciser les facteurs influençant la stabilité de la

J. Bock, ONF

FD de Tanières (88), seule la lisière a résisté

hêtraie régulière. Elle repose sur l'observation des dégâts dans des futaies régulières principalement localisées en Lorraine (peuplements ouverts en régénération exclus).

■ La seconde est limitée à un domaine géographique restreint centré sur Nancy : elle vise notamment à mieux comprendre les mécanismes conditionnant la stabilité individuelle du hêtre, en comparant le comportement d'arbres de futaie et de taillis-sous-futaie confrontés à des vents très élevés.

Au total, ces deux études se sont appuyées sur l'analyse détaillée de plus de 220 peuplements et de 650 arbres décrits avant la tempête, et réexaminés ensuite. La répartition spatiale du vent a été prise en compte au mieux à partir de la carte METEO-FRANCE de vitesse maximale du vent (voir encadré « protocole »). Il faut préciser enfin que la tempête a frappé sur des sols uniformément détrempés. Les résultats de ces études sont valables uniquement dans le domaine géographique du Nord-Est.

protocole

Les deux études s'appuient sur un réseau de placettes expérimentales de hêtraies suivies par l'ONF, l'INRA et la FVFE (Fédération de la vulgarisation forestière de l'Est), dont les caractéristiques dendrométriques avant tempête étaient précisément connues.

Ces placettes, de surface comprise entre 10 et 50 ares, ont fait l'objet d'un lourd travail de recueil de données (archives et mesures sur le terrain) : âge, hauteur dominante, densité (inventaire en diamètre ou surface terrière), date et intensité de la dernière coupe, profondeur prospectée par les racines de chablis, nature des contraintes à l'enracinement… Le taux de dégât a été mesuré en nombre de tiges endommagées (chablis et volis).

L'étude « futaie régulière »

Les 145 peuplements étudiés, localisés en Lorraine, Haute-Marne et Côte-d'Or, sont composés d'au moins 60 % de hêtre. Les peuplements en régénération ouverts par les coupes, et donc plus exposés aux chablis, ont été exclus de l'échantillon. Ces placettes couvrent une large gamme d'âge (de 30 à 195 ans), de densité de peuplement, et de station. L'influence du vent a été prise en compte grâce à la carte METEOFRANCE de la vitesse maximale instantanée enregistrée au cours de la journée du 26/12/99. Chaque placette s'est ainsi vu attribuer un niveau de vitesse maximale de vent : vent modéré (100-120 km/h), vent fort (120-140 km/h), ou vent très fort (140-160 km/h).

L'étude « futaie régulière et taillis-sous-futaie »

Elle repose sur 38 placettes de taillis-sous-futaie et 40 placettes de futaie régulière localisées dans la région de Nancy, c'est-à-dire un secteur où le vent a soufflé à plus de 140 km/h. L'échantillon était constitué de façon à garantir des conditions stationnelles comparables dans les deux types de peuplements (Badeau, 1995) (sols assez superficiels à moyennement profonds sur plateau calcaire). Ces placettes comportaient un échantillon de plus de 620 arbres dominants ayant fait l'objet d'une caractérisation morphologique précise avant tempête (diamètre, hauteur, dimensions du houppier). Ces arbres ont été retrouvés et réexaminés après la tempête.

En futaie régulière : rôle prédominant de la vitesse du vent et de la hauteur des peuplements

Les deux facteurs les plus décisifs vis-à-vis du risque de chablis ne surprendront personne :

■ **la vitesse maximale du vent apparaît sans conteste comme le facteur le plus déterminant.** Entre 100 et 120 km/h, les dégâts sont très faibles (quelques chablis isolés seulement). Ils deviennent plus importants entre 120 et 140 km/h, avec de multiples trouées : sur notre échantillon, 30 % des hêtraies

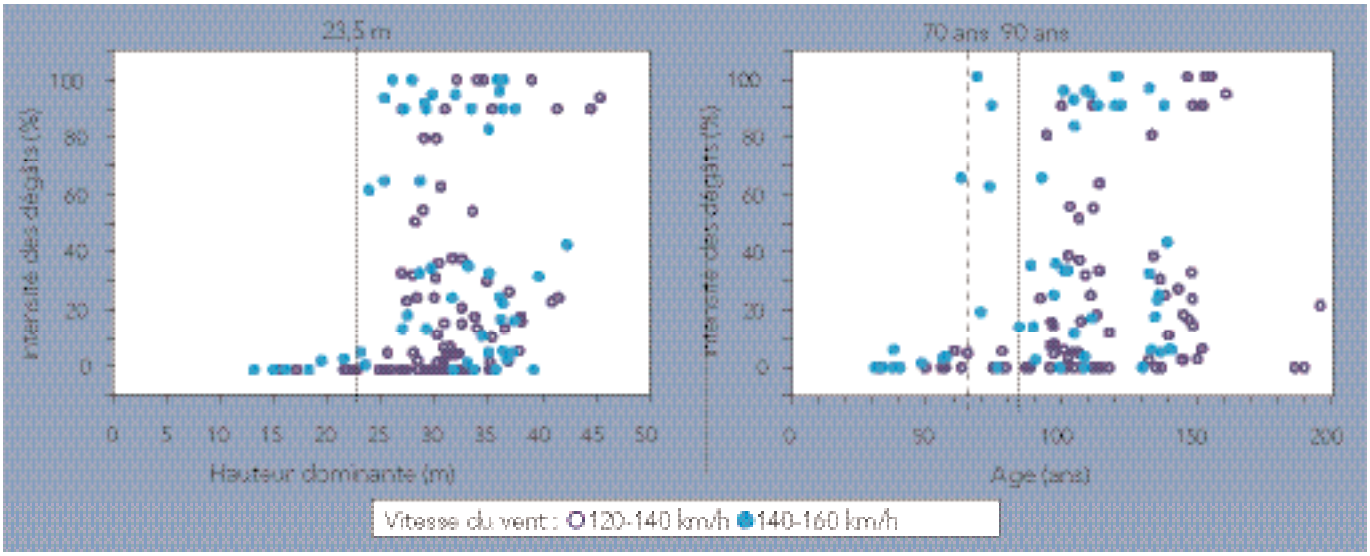


Fig. 1 : relation entre l'intensité des dégâts mesurée sur la placette (en nombre de tiges) et les caractéristiques des placettes (hauteur dominante et âge)

ayant subi ce niveau de vent sont touchées avec plus de 25 % des tiges à terre. **Au delà de 140 km/h, la hêtraie n'est plus du tout stable.** Les dégâts sont fréquents (51 % des hêtraies sont touchées à plus de 25 %) et de grande ampleur (grandes surfaces arasées).
Dans tous les cas, les dégâts sont presque exclusivement des chablis, les volis représentant moins de 3 % des tiges endommagées.

■ **La hauteur dominante des peuplements** joue un rôle capital dans la stabilité de la hêtraie : on a pu mettre en évidence (voir figure 1) **un seuil de hauteur proche de 23-24 m,** en deçà duquel les dégâts sont quasiment inexistants quel que soit le niveau de vent, et au delà duquel des dégâts importants apparaissent si la vitesse du vent est élevée. De façon moins marquée, deux âges seuils peuvent être identifié au delà desquels des dégâts importants se produisent : approximativement vers 90 ans pour un vent fort (120-140 km/h), et dès 60 à 70 ans en cas de vent très fort (140-160 km/h).

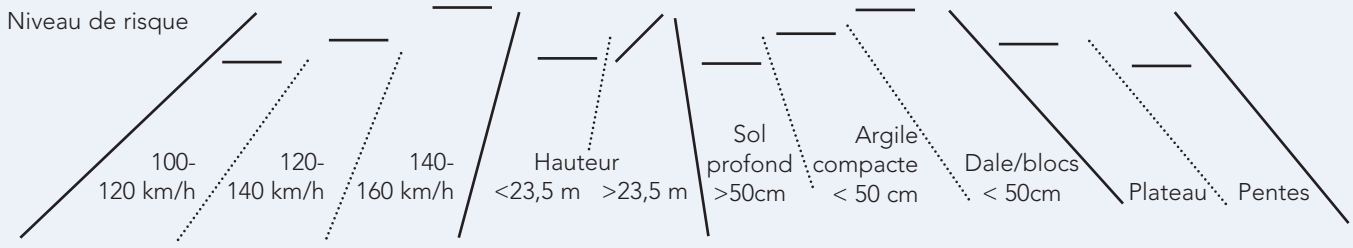
Un modèle pour analyser plus finement l'impact des facteurs dendrométriques et stationnels en futaie réguliere

Un modèle expliquant le taux de dégâts en nombre de tiges a été établi afin de prendre en compte simultanément l'ensemble des facteurs susceptibles d'influencer la stabilité des peuplements (voir encadré).
En plus de la vitesse maximale du vent et de la hauteur dominante des peuplements, le contexte stationnel des placettes étudiées dans cette zone s'est révélé être un facteur de risque important. Les dégâts sont en moyenne plus importants sur plateau et rebords de plateau que sur pente, et varient avec la profondeur du sol dans le sens attendu : les dégâts les plus faibles s'observent sur sol profond (plus de 50 cm de profondeur), et les dégâts les plus importants sur sols superficiels avec « dalle calcaire ou bloc » à moins de 50 cm. Les sols avec argile compacte à moins de 50 cm présentent des dégâts intermédiaires. Si l'on en juge sur les galettes de chablis, les mesures réalisées montrent que la prospection racinaire dépend essentiellement du diamètre de l'arbre et de la profondeur d'apparition d'un obstacle. Pour un diamètre de l'arbre donné, on observe un enracinement plus traçant sur sol superficiel (profondeur d'enracinement plus faible alors que la surface de la galette est légèrement plus élevée), ce qui amène une qualité d'ancrage moins performante.
La figure 2 illustre finalement les trois principaux facteurs déterminant la stabilité des futaies régulières de hêtre : la vitesse maximale du vent (risque important dès 120 km/h), la hauteur dominante des peu-

Un modèle expliquant l'intensité des dégâts en futaie régulière
Un modèle logistique prédisant le taux de dégâts du peuplement (Y) en nombre de tiges a été établi pour les futaies régulières. Il dépend de la vitesse maximale du vent décrite en 3 classes, de la hauteur dominante du peuplement (effet seuil à 23,5 m), et enfin du contexte stationnel décrit de façon très simplifiée en quelques classes.

Ln[Y/(1-Y)] = Constante +

Effet « vent » + Effet « hauteur dominante » + Effet « sol » + Effet « topographique »



Y = taux de dégats en nombre de tiges = nombre de tiges endommagées/nombre de tiges total du peuplement

Un modèle prédisant le risque de chablis individuel en situation de vent très fort
Ce modèle, valide quel que soit le traitement sylvicole, décrit le risque qu'un arbre soit chablis dans un contexte initial très défavorable (vent très fort supérieur à 140 km/h, sol saturé). Il fait intervenir :
■ la profondeur de l'horizon C (variable S)
■ le moment de la force exercée par le vent (variable M), calculé en fonction du rayon du houppier et de la distance allant du sol au milieu du houppier

$$\text{Proba (chablis)} = \exp(a + b\,S + c\,M) / [1 + \exp(a + b\,S + c\,M)]$$

avec a, b et c = constantes

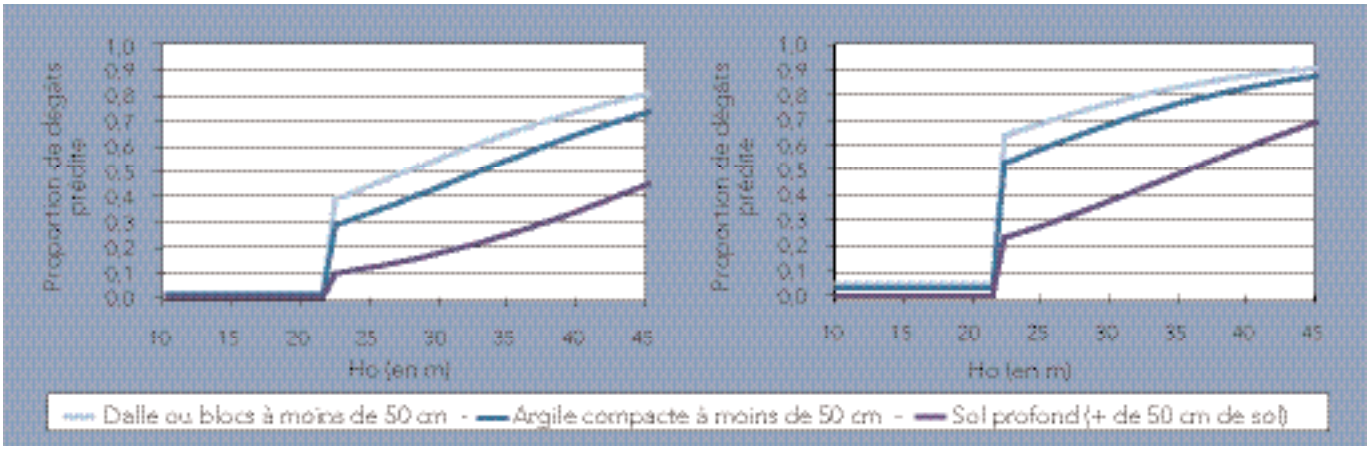


Fig. 2 : Résultats de simulation du taux de dégâts en futaie régulière de hêtre, en fonction de la hauteur dominante des peuplements et de la nature du sol, en situation de vent fort ou très fort (vitesse maximale instantanée)

plements (risque important dès 23-24 m de hauteur, et qui continue à croître régulièrement au delà de ce seuil), et enfin, la profondeur et la nature de l'obstacle à l'enracinement.

Pas d'effet de la densité des peuplements ni de la dernière coupe en futaie régulière

De façon plus surprenante, aucun des indices traduisant la densité des peuplements (surface terrière, indice de densité de Reineke notamment) ou l'historique de concurrence entre les tiges (coefficient d'élancement Ho/Dg) ne se sont révélés significatifs pour des vents supérieurs à 120 km/h sur les stations étudiées.
La date et l'intensité de la dernière coupe ne figurent pas non plus parmi les facteurs de risque, du moins dans le domaine couvert par notre échantillon : il se peut qu'un tel effet existe dans les hêtraies régulières lorsqu'elles sont soumises à des éclaircies violentes. Notre échantillon, qui n'en offrait pas, ne pouvait pas le mettre en évidence, et les futaies ouvertes en régénération étaient exclues du champ de cette étude.

Ces résultats montrent finalement que le hêtre, notamment lorsqu'il est défeuillé, se comporte très différemment des résineux vis-à-vis du risque de chablis.

Comparaison des futaies et taillis-sous-futaie : des dégâts globalement équivalents

Au niveau du peuplement, en situation de vent très fort et sur un sol plutôt détrempé, les dégâts sont de même ampleur dans les deux types de structure : environ 60 % des peuplements sont très touchés (avec 50 à 100 % de dégâts). Dans le détail, on constate :

- pour les peuplements de hauteur dominante inférieure à 23,5 m, les (jeunes) futaies régulières sont peu sensibles au vent alors que les TSF, plus âgés et avec des houppiers plus développés, sont déjà lourdement touchés ;
- pour les peuplements de hauteur dominante supérieure à 23,5 m, les TSF sont un peu moins sensibles que les futaies régulières, en moyenne nettement plus hautes.

Quant à la nature des dégâts, les volis sont très légèrement plus fréquents en taillis-sous-futaie (5 % des tiges de réserve contre 1 % des tiges en futaie).

Au niveau de l'arbre : des dégâts qui augmentent avec la hauteur de l'arbre et la grosseur du houppier

Grâce aux observations collectées sur un large échantillons d'arbres

Système racinaire d'un hêtre mis à nu (FC Méménil 88)

(réserves de TSF et dominants de futaie), les résultats obtenus à l'échelle des peuplements ont pu être complétés par une analyse des facteurs de sensibilité au niveau de l'arbre.
Outre l'augmentation du risque lorsque la profondeur du sol diminue (facteur déjà mis en évidence au niveau du peuplement), l'étude a montré que **l'augmentation du risque avec le temps est étroitement liée à l'élévation avec l'âge du centre de gravité de l'arbre, et au développement transversal du houppier : plus l'arbre est haut, plus le risque est élevé ; et pour une hauteur donnée, plus le houppier est développé, plus le risque augmente.**

Un modèle (voir encadré) a pu être établi pour décrire le risque de chablis au niveau individuel : il fait intervenir la profondeur du sol et les dimensions de l'arbre, à savoir un bras de levier allant du sol au milieu du houppier, et la largeur du houppier. Ce modèle, valide à la fois pour les arbres de TSF et de futaie régulière, est également cohérent avec les observations faites au niveau du peuplement : risque plus fort pour les futaies hautes, et, à hauteur fixée, risque plus élevé pour les arbres de TSF parce que possédant de plus gros houppiers.

Si ce résultat semble assez logique, il est cependant contradictoire avec ce que l'on dit du comportement des résineux : à hauteur totale donnée, la probabilité de chablis du hêtre sous vent très fort augmente avec le diamètre de l'arbre (très corrélé avec le diamètre du houppier), et augmente donc lorsque le coefficient d'élancement H/D diminue.

Comparaison des arbres produits par une sylviculture dense avec ceux issus d'une sylviculture claire

Cette question peut être abordée grâce au modèle « arbre » présenté ci-dessus, en évaluant le risque de chablis pour des arbres issus de sylvicultures différentes, mais ayant atteint un même diamètre d'exploitabilité (par exemple 60 cm) à des âges différents. La figure 3 illustre les caractéristiques de notre échantillon d'arbres de futaie et de TSF dans le plan [en ordonnées, rayon du houppier ; en absisses, bras de levier], et y confronte les courbes iso-risque (=risque constant) établies grâce au modèle « arbre » pour une profondeur de sol moyenne. On constate bien que si les deux traitements s'y distinguent nettement, le risque

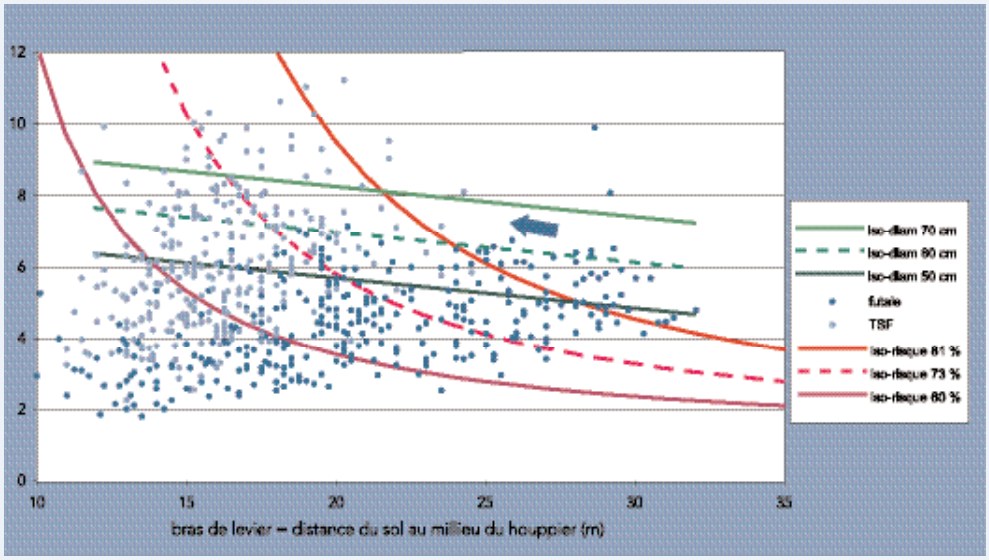


Fig 3. Illustration du risque de chablis des arbres en fonction de leurs caractéristiques individuelles

Situation dans le plan [rayon du houppier, bras de levier] :
- des arbres de l'échantillon (réserves de TSF et dominants de futaie régulière)
- des courbes iso-risques : calculées avec le modèle établi, elles définissent les dimensions des arbres (rayon du houppier et bras de levier) pour un niveau de risque de chablis fixé (60, 73, ou 81 %)
- des droites iso-diamètres : calculées à l'aide d'une relation reliant le diamètre à 1,30 m des arbres au rayon du houppier et au bras de levier, ces droites définissent les dimensions des arbres (rayon du houppier et bras de levier) correspondant à un diamètre à 1,30 m constant (50, 60 ou 70 cm).

Pour diminuer le risque de chablis sans faire varier le diamètre à 1,30 m, il est nécessaire de se déplacer le long des droites iso-diamètre dans le sens indiqué par la flèche noire, c'est-à-dire en privilégiant une sylviculture claire.

qu'ils courent est globalement semblable : faible hauteur mais larges houppiers en TSF ; houppiers étriqués mais hauteurs élevées en futaie régulière.

Le diamètre à 1,30 m étant très corrélé au rayon du houppier, et plus lâchement au bras de levier, une relation entre ces 3 paramètres a pu être établie, de façon à enrichir la figure avec des courbes iso-diamètre (=diamètre constant des arbres dominants). On constate alors que, si l'on veut atteindre un diamètre donné, on minimise le risque en se déplaçant dans le sens indiqué (flèche noire), c'est-à-dire en adoptant une sylviculture claire conduisant à l'exploitabilité à des arbres relativement bas (jeunes) avec des houppiers très développés.

Il y a toutefois des limites à cela :
- une trop faible densité du peuplement, pendant toute sa vie, peut entraîner des pertes sensibles de production, et un mauvais élagage de la bille de pied ;

- même à densité très faible, le risque de chablis par vent très fort reste élevé à l'exploitabilité (>60 % sur sol moyen) si l'on veut obtenir un diamètre convenable.

Conséquences pour la sylviculture du hêtre : des arguments en faveur d'une sylviculture dynamique

Les enseignements de cette étude militent pour une sylviculture plus dynamique et un raccourcissement de la révolution, avec un âge d'exploitabilité de l'ordre de 90 à 100 ans. D'une part, les arbres issus d'une sylviculture claire devraient être plus stables en moyenne que ceux qui ont été éduqués en peuplements relativement denses. D'autre part, en abaissant l'âge d'exploitabilité, on réduit de façon très significative la durée de la phase critique, pendant laquelle la hauteur dominante des peuplements est supérieure à 23-24 mètres, par rapport à un itinéraire sylvicole qui maintient jusqu'à 120, voire 140 ans, des futaies plus hautes et sensibles aux vents très forts.

Il convient également de profiter de la faible sensibilité au vent de la jeune hêtraie (tant que la hauteur dominante est inférieure à 23 m) pour gérer au mieux la sortie de la phase de compression, dès 12 à 14 m de hauteur dominante, en procédant à ce stade à des éclaircies très vigoureuses.

Enfin, d'autres pistes de recherche et développement mériteraient d'être explorées :
- les facteurs de la sensibilité des arbres devraient être examinés dans d'autres régions et des environnements plus variés (lisières, peuplements de structure irrégulière) ;

- l'élagage naturel, et les caractéristiques dendrométriques qui interviennent dans le risque de chablis, pourraient être intégrés dans les modèles de croissance ;

- de meilleures prévisions sur le temps de retour des tempêtes par région seraient nécessaires.

Sur un territoire donné, l'évaluation du risque associé aux tempêtes nécessite de connaître le temps de retour de tels événements. De telles évaluations manquent et, par ailleurs, restent par nature un peu osées dans un contexte de changement climatique ou stationnel mal prévisible.

Jérôme BOCK
Isabelle VINKLER
ONF, service patrimonial
DT Lorraine
jerome.bock@onf.fr
isabelle.vinkler@onf.fr

Pierre DUPLAT
Jean-Pierre RENAUD
ONF, pôle recherche et développement
direction technique
dtrd@onf.fr

Remerciements

Cette étude, conduite avec le soutien financier du GIP-Écofor, a pu être réalisée grâce à la collaboration de l'INRA (Département forêts et milieux naturels, Laboratoire de phytoécologie) et de la FVFE. Que tous en soient ici remerciés, ainsi que l'ensemble des personnels de l'ONF ayant participé à la collecte des données sur le terrain ou dans les archives forestières.

Bibliographie

BADEAU V., 1995. Étude dendroécologique du hêtre *(Fagus sylvatica)* sur les plateaux calcaires de Lorraine. Influence de la gestion sylvicole. Thèse de biologie forestière, université de Nancy I, 238 p.

BOUCHON J., 1987. État de la recherche relative aux dégâts forestiers dus aux tempête. Revue Forestière Française, Vol. 39, n° 4, pp. 301-312.

BOCK J., DUPLAT P., RENAUD J.P., VINKLER I., 2002. Influence des paramètres sylvicoles et stationnels sur l'intensité des dégâts provoqués par la tempête du 26 décembre 1999 dans les hêtraies du quart nord-est de la France. Rapport final. Conv ÉCOFOR n°2000-39, 70 p.

Sapin et douglas face aux vents forts : comprendre les facteurs de risque et adapter notre sylviculture

La forêt française a été largement touchée par les deux tempêtes des 26 et 27-28 décembre 1999. De nombreux peuplements gérés par l'ONF ont été endommagés. Passées les premières émotions et les premières dispositions concernant la sécurité et la commercialisation des bois, l'attention a été portée sur une question essentielle et son corollaire pratique :

- *est-il possible de mettre en relation certaines caractéristiques des peuplements et la sylviculture qui leur est appliquée avec le niveau des dégâts qu'ils subissent ?*
- *Est-il possible de diminuer les risques liés aux tempêtes par des pratiques sylvicoles adaptées ?*

Au regard des dégâts occasionnés (Auvergne et Limousin : 2,4 millions de m³ ; Doubs et Jura : 2,5 millions de m³, selon l'enquête DERF de février 2000) et des intérêts en jeu, les sections techniques interrégionales Est et Massif central ont décidé au printemps 2000 de lancer plusieurs études pour répondre à ces questions sur les essences suivantes : douglas dans le Massif central, sapin en Franche-Comté et dans le Massif central. Ces trois études complètent celle réalisée dans le même esprit sur le hêtre en Lorraine.

Un taux de dégâts fortement influencé par la hauteur du peuplement et le nombre d'années écoulées depuis la dernière éclaircie

Une analyse des variables prises une à une a été effectuée pour les trois études (sapin Franche-Comté, sapin Massif central et douglas Massif central). Ces résultats sont, bien entendu, à interpréter avec précaution car les variables explicatives (âge, hauteur, densité) sont liées entre elles.

Le douglas dans le Massif central

La première constatation porte sur la nature et la répartition des chablis : le douglas se renverse plutôt qu'il ne se casse et les chablis ont tendance à être dispersés dans les peuplements (voir figure 1). Les principaux résultats de l'étude sont récapitulés dans le tableau 1. Une comparaison y est faite avec les a priori les plus répandus.
La seule exposition qui s'est avérée vraiment protectrice lors de la tempête de décembre 1999 est le Nord-Est. Il peut cependant arriver que les vents viennent d'une direction inhabituelle, comme en 1982.

	A priori répandus	Massif central
Sol	Sols superficiels aggravants	Pas d'effet mis en évidence
Exposition	Aggravant (pour les expositions au vent)	Seule exposition protectrice : NE
Topographie	Très aggravant (exposition aux vents dominants)	Pas d'effet mis en évidence
Hauteur	Aggravant	Seuil à 28 m
Volume ou surface terrière sur pied	Fort volume aggravant	Pas d'effet mis en évidence
Longueur relative du houppier	Houppiers étriqués aggravant	Pas d'effet mis en évidence
Élancement	Aggravant	Seuil à 80
Intensité de la dernière coupe	Aggravant	Pas d'effet mis en évidence (y compris lors d'ouverture en régénération)
Temps écoulé depuis la dernière coupe	Aggravant si court	Seuil à 1 an

Tableau 1 : résultats de l'étude douglas Massif central (analyse des facteurs un à un par rapport au taux de dégâts) et comparaison avec les a priori les plus répandus

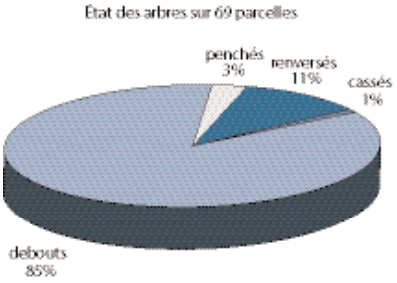


Fig. 1 : proportion des douglas endommagés par rapport à l'ensemble des tiges mesurées et proportion des types de dégât en % (cassés, renversés et penchés)

Les effets de la hauteur et du temps écoulé depuis la dernière coupe sont confirmés avec des seuils à partir de 28 m et de moins de un an.

Le sapin en Franche-Comté et dans le Massif central

Les principaux résultats sont récapitulés dans le tableau 2. Les deux études ont permis de déceler les principaux facteurs aggravants sur les deux régions considérées :

- hauteur pour la Franche-Comté (pour le Massif central, la question reste en suspens car la gamme d'échantillonnage était peu étendue en la matière),

- date de la dernière coupe et son intensité, charge du sol en blocs pour le Massif central (pour la Franche-Comté, la question reste en suspens car la gamme d'échantillonnage était peu étendue en la matière même si les parcelles en régénération peuvent s'apparenter à des coupes fortes et fréquentes).

La Franche-Comté et le Massif central sont des régions aux contextes pédologiques et topographiques différents. Ceci explique les quelques différences qui existent pour les résultats concernant les effets exposition et topographie.

protocole

Les trois études reposent sur des enquêtes approfondies. Elles portent uniquement sur des peuplements traités en futaie régulière et sur les zones géographiques suivantes : Massif central (sapin et douglas) et Franche-Comté (sapin).

Échantillonnage
744 parcelles (voir tableau ci-dessous) ont été pré-sélectionnées au bureau à partir des aménagements et par un tri fondé sur la pureté en essence (>2/3 du capital sur pied, voire 3/4 pour le douglas), et la représentativité des stades de développement (de la jeune à la vieille futaie), de hauteur ainsi que des types et dates d'éclaircie. Une évaluation de terrain a permis de vérifier les conditions d'homogénéité de ces parcelles et la conformité avec les données annoncées dans les aménagements. 484 parcelles ont ainsi finalement été retenues pour constituer l'échantillon analysé.

	Sapin	Douglas	Total
Franche-Comté	288 (365)		288 (365)
Massif central	127 (129)	69 (250)	196 (379)
Total	415 (494)	69 (250)	484 (744)

Nombre de parcelles échantillonnées (entre parenthèses : pré-échantillon)

Mesures
Les mesures ont été effectuées dans chaque parcelle sur 10 placettes pour le sapin et 8 pour le douglas, selon un cheminement tenant compte de la difficulté d'accès de la parcelle. Les placettes, de surface fixe en fonction de la densité du peuplement, contenaient au minimum dix arbres.
Le taux de dégâts (nombre d'arbres chablis/nombre total d'arbres sur la placette, les arbres chablis étant couchés, cassés ou penchés) et leur répartition (diffus, trouées de taille variable…) ont été notés dans chacune de ces parcelles dans un rayon de 25 m.

Le milieu a été caractérisé pour chaque placette par plusieurs variables (exposition, pente, texture du sol, profondeur du sol et pierrosité), ainsi que les peuplements (hauteur dominante, densité par essence, diamètre moyen et dominant et proportion de houppier vert sur l'ensemble des arbres appartenant à l'étage principal).

Reconstitution de l'historique sylvicole
L'état dendrométrique de chaque parcelle juste avant tempête a été reconstitué à partir des données d'inventaire issues des aménagements et des coupes réalisées dans chaque parcelle depuis ce dernier inventaire. Les informations les plus importantes relevées sont la date de fin d'exploitation, le nombre de tiges prélevées par hectare, la surface terrière enlevée, l'intensité de l'éclaircie (par rapport à la surface terrière avant la coupe), le temps écoulé entre la dernière exploitation et la date de la tempête, le facteur d'espacement de Hart-Becking (S%), et l'âge des peuplements dans le cas du Massif central.
Des variables ont aussi été reconstituées à partir des inventaires en tenant compte des accroissements (par exemple la surface terrière avant tempête). D'autres ont également été calculées à partir des premières comme le facteur d'élancement (Ho/Do, Hg/Dg…) et l'intensité de la dernière coupe par rapport au temps écoulé depuis cette coupe.
L'historique sylvicole de chaque parcelle a été ainsi reconstitué.

	A priori répandus	Massif central	Franche-Comté
Sol	Sols superficiels aggravants	Aggravant sur des sols à gros blocs (cheire volcanique, arène granitique)	Pas d'effet mis en évidence mais absence de sols à gros blocs
Exposition	Aggravant (pour les expositions au vent)	Aggravant en exposition sud et sud ouest	Pas d'effet mis en évidence
Topographie	Très aggravant (exposition aux vents dominants)	Aggravant en situation de crête (ou 50m en-deçà)	Pas d'effet mis en évidence
Hauteur	Aggravant	Pas d'effet mais faible gamme étudiée	Seuil 27,5 m
Peuplement ouvert en régénération	Aggravant	Pas d'effet mais faible gamme étudiée	Aggravant
Volume ou surface terrière sur pied	Aggravant	Pas d'effet mis en évidence	Pas d'effet mis en évidence
Longueur relative du houppier	Houppiers étriqués = aggravant	Pas d'effet mis en évidence	Pas d'effet mis en évidence
Élancement	Aggravant	Pas d'effet mis en évidence	Pas d'effet mis en évidence
Intensité de la dernière coupe	Aggravant	Aggravant	Aggravant dans le cas des coupes de régénération
Temps écoulé depuis la dernière coupe	Aggravant si court	Aggravant si court	Aggravant dans le cas des coupes de régénération

Tableau 2 : résultats des études sapin (Franche-Comté et Massif central) (analyse des facteurs un à un par rapport au taux de dégâts) et comparaison avec les a priori les plus répandus

Modèles retenus

Les indications issues de l'analyse descriptive (tableaux ci-dessus) ne valent que pour chaque facteur pris isolément. Elles ne permettent donc pas d'avoir une clef de lecture globale des facteurs aggravants en les classant entre eux.

Une analyse combinant ces différents paramètres (âge, hauteur, intensité d'éclaircie, etc.) a donc été effectuée en complément de façon à pouvoir proposer au gestionnaire un modèle pour chaque essence.

Les modèles obtenus sont récapitulés dans l'encadré page suivante. Leur construction découle des résultats de l'analyse descriptive (détermination des variables les mieux corrélées au taux de dégâts) et de la hiérarchisation de ces variables par le biais d'une analyse multivariée.

Dans le cas du sapin en Franche-Comté, la hauteur dominante (Ho) est la variable la mieux corrélée aux dégâts avec un seuil à 27,5 m de hauteur au delà duquel les dégâts sont plus forts (voir fig. 2). Pour les parcelles dont la hauteur est supérieure à ce seuil, ce sont les parcelles en régénération entamée toutes supérieures à 27,5 m qui subissent le plus de dégâts du fait de leur ouverture via des coupes fréquentes (délais courts entre coupes et forte intensité de prélèvement). Les dégâts ont, par ailleurs, tendance à être plus importants dans les parcelles en préparation et en régénération non entamée

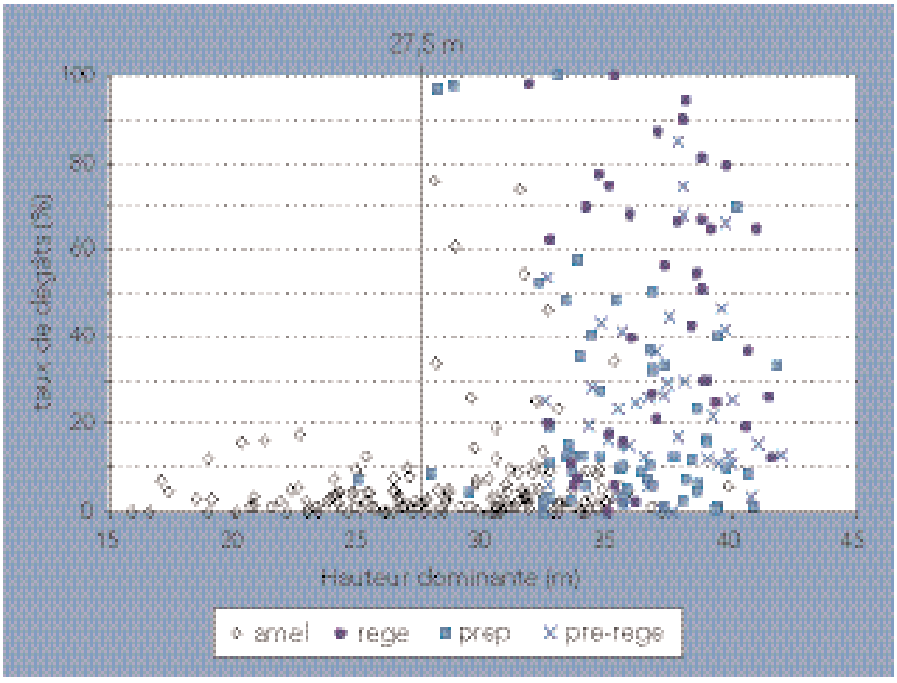


Fig. 2 : mise en évidence du seuil de hauteur et de la répartition des peuplements par stade
pre-rege = parcelles classées en régénération mais non encore entamées, rege = parcelles en régénération et déjà entamées

Un modèle expliquant le taux de dégâts en futaie régulière de douglas

Un modèle à seuils prédisant le taux de dégâts du peuplement a été établi pour les futaies régulières de douglas. Il dépend de l'intensité de la dernière coupe, du délai écoulé depuis celle-ci, de la hauteur et du diamètre du peuplement.

Y = Constante + Effet seuil intensité et délai depuis coupe + Effet hauteur et diamètre + Effet exposition

Y = taux de dégâts en % (nombre de tiges couchées, cassées et penchées /nombre de tiges total du peuplement)
Effet intensité et délai de coupe : effet de l'intensité I de la dernière éclaircie tempéré par le délai écoulé depuis celle-ci où I est exprimé en % de surface terrière prélevée et le délai en jours depuis la fin de l'abattage jusqu'au jour de la tempête
Effet hauteur et diamètre : effet d'une variable reliant la hauteur au diamètre et s'apparentant au facteur d'élancement
Effet exposition : secteur ouest ou autre.

Un modèle expliquant le taux de dégâts en futaie régulière de sapin en Franche-Comté

Un modèle à seuils prédisant le taux de dégâts du peuplement en pourcentage a été établi. Il dépend de la hauteur, de l'intensité de la dernière coupe, du délai de temps écoulé depuis celle-ci (qui est relié au type de classement des parcelles).

Y = Constante + Effet seuil Hauteur + Effet classement en régénération + Effet classement en préparation ou pré - régénération

avec parcelles en pré régénération = parcelles classées en régénération mais dont la régénération n'est pas encore entamée (absence de coupe)
et parcelles en régénération = parcelles classées en régénération et dont la régénération est déjà entamées

Effet hauteur si Ho>27,5 m
Effet classement en régénération si Ho>27,5m
Effet classement en préparation et pré - régénération : variables abstraites, mais le classement correspond à l'absence ou à la réalisation de coupes fortes (dans les régénérations)

Un modèle expliquant le taux de dégâts en futaie régulière de sapin dans le Massif central

Un modèle de régression multiple prédisant le taux de dégâts du peuplement a été établi. Il dépend de l'intensité de la dernière coupe combiné au laps de temps écoulé depuis celle-ci, de la distance à la crête, de la charge en cailloux du sol, de l'exposition et de la hauteur.

Y = Constante + Effet intensité et délai de coupe + Effet distance à la crête + Effet sol + Effet exposition + Effet Hauteur

Effet intensité et délai de coupe : effet de l'intensité de la dernière éclaircie tempéré par le délai écoulé depuis celle-ci où l'intensité est exprimée en % de surface terrière prélevée et le délai en jours depuis la fin de l'abattage jusqu'au jour de la tempête
Effet distance à la crête (plus ou moins de 50 m)
Effet sol (charge en cailloux et blocs)
Effet exposition (sud et sud-ouest/autres expositions)
Effet hauteur (effet linéaire)

que dans les parcelles en amélioration, en lien sans doute là aussi avec une hauteur plus élevée.

L'élancement Ho/Do est une variable très usitée par les forestiers. On constate l'absence d'effet significatif de cette variable dans les deux études sapin (Massif central, Franche-Comté). L'analyse effectuée montre en effet que cette variable joue peu pour une essence trapue comme le sapin.

Opter pour une sylviculture dynamique

Tirons maintenant les conséquences pratiques de ce travail de modélisation en proposant des scénarii sylvicoles qui intègrent le risque chablis.
Soulignons au préalable que les facteurs aggravant le risque de dégât physique mis en évidence dans les études citées ici ne sont pas les seuls à prendre en compte. Ainsi, étant donné la diminution des prix unitaires après tempête des bois chablis, il va de soi que le risque économique encouru à un fort niveau de capitalisation est supérieur à celui encouru à un faible niveau de capitalisation. Les propositions suivantes (voir synthèse) en tiennent compte.
Il est conseillé d'effectuer, lorsque les contraintes d'exploitation le permettent, les éclaircies après les périodes de turbulence (novembre à mars) de façon à minimiser les risques de chablis.

Conclusion

Il faut reconnaître que l'explication des dégâts dus au vent est difficile même si certains facteurs sont bien mis en évidence dans ces études. Ceci peut être attribué d'une part au caractère exceptionnel du phénomène climatique, dont les effets sont très aléatoires, et d'autre part au tempérament des deux essences étudiées, connues pour être peu sensibles au vent.

Il est évident que le rôle de l'aménagiste et celui du sylviculteur sont étroitement liés, même si d'autres contraintes que le risque chablis existent, comme la régularité des revenus, l'obtention de la régénération, la qualité des bois, les enjeux sociaux et écologiques…

Des études complémentaires portant notamment sur des analyses économiques et sur l'impact du vent sur les lisières forestières apporteraient des informations essentielles permettant une meilleure compréhension des tempêtes et de leurs conséquences sur les peuplements forestiers.

Ariane ANGELIER
ONF, pôle recherche et progrès technique
DT Auvergne-Limousin
ariane.angelier@onf.fr

Didier FRANÇOIS
ONF, service aménagement, recherche et technique
DT Franche-Comté
didier.francois@onf.fr

Bibliographie

GENAY G., JACQUEMIN B., BAILLY A., (sous presse). Gestion durable du douglas dans le Massif central. Stabilité face aux vents forts. Clermont-Ferrand : ONF.

GENAY G., JACQUEMIN B., (sous presse). Stabilité du sapin en Auvergne face aux vents forts. Clermont-Ferrand : ONF.

DELANNOY L., DUPLAT P., MOREL P.J., FRANÇOIS D., 2003. Étude des facteurs aggravants des tempêtes de décembre 1999 sur la sapinière jurassienne traitée en futaie régulière. Dôle : ONF. 38p.

Synthèse

Douglas

En ce qui concerne le douglas, il s'agit de trouver un compromis entre
- la qualité du bois (le bois de douglas garde ses propriétés mécaniques, s'il est élagué, jusqu'à des accroissements de 6 mm sur le rayon, cf. classement structure du douglas, norme NF 52-001, classe C22) ;
- les risques physiques encourus ;
- les risques économiques acceptés par le propriétaire.

Un itinéraire sylvicole prenant en compte les risques liés à l'exposition aux chablis des peuplements réguliers de douglas comporterait les caractéristiques suivantes :
- très dynamique dès les plus jeunes stades (Ho<28 m) pour réduire la densité et favoriser les gros diamètres (le but est d'obtenir à long terme des peuplements ayant un rapport Ho/Do satisfaisant lorsqu'ils dépasseront une hauteur de 28 m),
- des éclaircies dynamiques mais espacées dans le temps (augmentation du temps entre deux éclaircies) pour réduire les risques d'instabilité existants la 1ère année après l'éclaircie.

Sapin

Un itinéraire sylvicole prenant en compte les risques liés à l'exposition aux vents forts des peuplements réguliers de sapin comporterait les caractéristiques suivantes :
- très dynamique dès les plus jeunes stades (Ho<27,5 m) pour réduire la densité et favoriser à long terme une part de houppier importante par rapport à la hauteur totale,
- suffisamment dynamique au stade amélioration (Ho>27,5 m) et préparation afin de limiter la capitalisation et maintenir le volume sur pied en dessous de 500 m^3/ha (voir fig. 4),
- très dynamique dans la phase de décapitalisation du stade de régénération pour réduire le temps durant lequel le peuplement est en situation d'instabilité très élevée. Ceci n'empêche pas de conduire des régénérations très progressives sur 20 à 40 ans, mais à l'échelle de la parcelle, en étant rapide sur des parties de parcelles avec des prélèvements de l'ordre de 30-40 %.

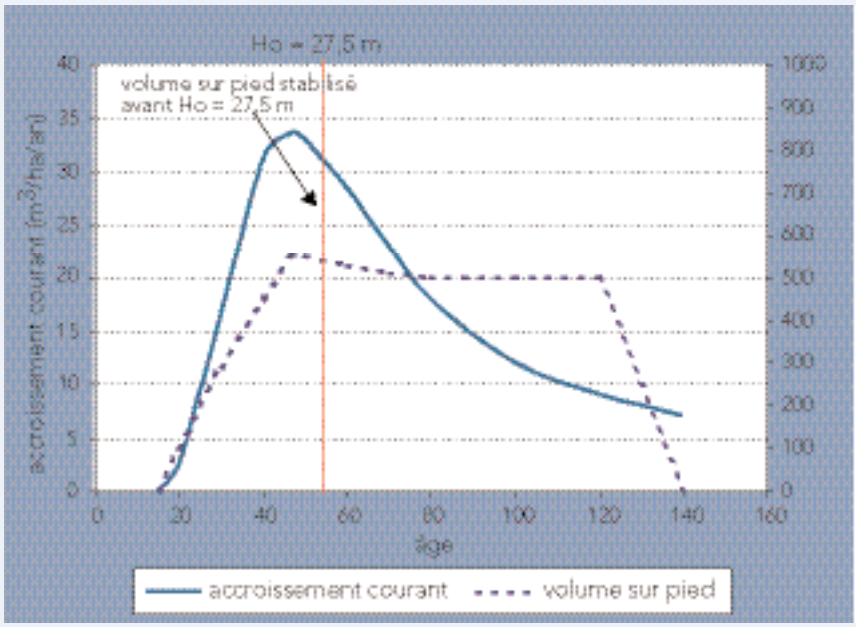


Fig. 4 : limitation de la capitalisation malgré le pic d'accroissement courant du sapin entre 40 et 80 ans

Premier bilan des études menées en matière de biodiversité après la tempête de 1999

L. Tillon, ONF

Œdipe turquoise (Œdipoda caerulescens) *: une espèce de criquet des milieux ouverts qui a rapidement colonisé les vides créés dans les peuplements de pins par la tempête (FD Rambouillet)*

À la suite des tempêtes de décembre 1999, de nombreuses initiatives ont vu le jour pour suivre l'évolution de la biodiversité dans les secteurs sinistrés.

L'ONF a contribué à mettre en place dans un certain nombre de sites un programme pluridisciplinaire, associant scientifiques (INRA, Université de Lille 2…), naturalistes (OPIE, LPO…) et gestionnaires forestiers. Financé par le ministère de l'écologie et du développement durable sur la période 2000-2002, ce programme concerne quatre régions et six importants massifs forestiers (voir tableau ci-contre).

Deux axes principaux d'études ont été retenus par les gestionnaires de l'ONF :

- l'évaluation de l'effet de ces deux tempêtes sur la biodiversité forestière (espèces de la flore et de la faune, et habitats) à différentes échelles ;
- l'effet de l'exploitation forestière sur la conservation de certains éléments de la biodiversité.

Le présent article n'apportera pas de réponses à toutes les questions que se posent légitimement les gestionnaires forestiers mais présentera essentiellement les objectifs que ces différents programmes d'études visent ainsi que certains protocoles mis en place. En effet, les principales références bibliographiques relatives à l'impact des perturbations sur la biodiversité forestière démontrent que les premiers résultats fiables ne peuvent valablement être exploités qu'à l'issue d'une période d'observations de 10 ans au minimum (Peterken, 1996 ; Fischer, 1996 et 1998 ; Schreiner, 2000).

Impact des tempêtes de décembre 1999 sur la biodiversité forestière

Dans l'ouest européen, les vents forts sont l'un des principaux moteurs des cycles sylvigénétiques (Peterken, 1996), car ils provoquent les perturbations potentiellement les plus destructives que subissent les écosystèmes forestiers. Ces tempêtes ont des effets immédiats (horizons supérieurs du sol bouleversés, arbres déracinés…) mais également

SITES ET COMPARTIMENTS DE LA BIODIVERSITÉ ÉTUDIÉS

Compartiment étudié		Île-de-France	Picardie	Lorraine	Alsace
Mammifères	Chiroptères	Rambouillet		Romersberg, La Reine	
Avifaune	Engoulevent	Rambouillet			
	Pic mar	Rambouillet		La Reine	
	Toutes espèces			La Reine	Petite Pierre
Entomofaune	Orthoptères	Rambouillet			
	Coléoptères saproxyliques	Rambouillet/ Fontainebleau		Bezanges	
Végétation	Toute	Rambouillet	Retz		Petite Pierre
	Espèces patrimoniales			Diverses forêts	
	Briophytes et lichens	Rambouillet			
	Champignons		Retz		
Effet tempête	Peuplement				Petite Pierre, Villefranche
	Type de trouée	Rambouillet			
	Exploitation		Retz		Petite Pierre

des effets différés. On peut supposer en effet que les trouées vont influer sur la nature de la biodiversité par un retour à des stades antérieurs de la succession forestière. Ainsi la tempête, par une transformation majeure des habitats et du milieu, peut influencer durablement la dynamique évolutive de l'écosystème considéré. Cet effet sera pondéré par la distribution spatiale et la taille des trouées. En effet, les chablis peuvent concerner des échelles très variables, depuis l'arbre isolé jusqu'à des surfaces de plusieurs dizaines voire centaines d'hectares d'un seul tenant. Enfin, la création de « microhabitats » (galettes de chablis, chandelles de volis, bois mort en grande quantité…) ou la disparition d'habitats particuliers peuvent avoir des conséquences significatives sur les populations d'espèces locales.

Trois approches complémentaires ont été privilégiées dans le cadre de ce programme.

Le suivi d'espèces remarquables

Dans plusieurs régions, les services locaux de l'ONF, en partenariat avec le monde scientifique et naturaliste, ont voulu savoir comment des espèces forestières ou des espèces liées aux lisières forestières avaient réagi face à cette modification brutale du paysage forestier. Plusieurs études ont été conduites en ce sens en Lorraine et en Île-de-France.

En Lorraine par exemple, le conservatoire botanique de Nancy, l'association de botanistes Floraine et l'ONF se sont intéressés à l'impact des trouées sur les espèces végétales remarquables (protégées nationalement ou régionalement) inféodées aux habitats forestiers ou aux lisières forestières (écotones). En effet, les espèces végétales forestières sont le plus souvent des espèces sciaphiles voire de demi-ombre, handicapées de surcroît par un faible pouvoir de dispersion (Honnay et al., 1998 ; Hermy et al., 1999). L'objectif de ce suivi était donc de voir si les populations de ces espèces remarquables allaient se maintenir ou au contraire disparaître à plus ou moins longue échéance. Pour les espèces de lisière comme le sabot de Vénus, la question était plutôt de savoir si ces populations allaient se maintenir ou s'étendre.

Les observations de 2000 et 2002 effectuées en Lorraine montrent que les espèces d'ombre ou de demi-ombre (*Carex pilosa, Centaurea montana, Lunaria rediviva, Osmunda regalis*) ou de caractère montagnard comme *Lycopodium annotinum* sont à surveiller car elles ont souffert de l'ouverture brutale des peuplements ; en revanche, une espèce héliophile comme *Laser trilobum* s'est développée considérablement dans les trouées, et fructifie abondamment. Néanmoins, seul un suivi d'une dizaine années au moins pourra permettre de conforter ces observations.

Cependant, pour mesurer les conséquences de la perturbation sur la dynamique naturelle, il a paru plus pertinent d'étudier l'évolution des peuplement dans leur structure ou leur composition en espèces que de suivre uniquement des populations d'espèces remarquables.

Approche par le biais de l'étude des communautés d'espèces

Dans le massif de Rambouillet, deux études se sont intéressées d'une part aux communautés bryo-lichéniques se développant sur les troncs au sol en intégrant également celles des galettes de chablis, et d'autre part aux communautés végétales des clairières issues de la tempête.

L'étude des communautés végétales avait pour objectif d'évaluer, dès la première saison de végétation après

la tempête, si l'on pouvait prédire quelle dynamique la végétation d'une trouée donnée allait suivre, et donc quelle mosaïque d'habitats le forestier aurait à gérer dans le futur.

Cette étude a porté sur une centaine de trouées issues pour partie de la tempête de 1999 (3/4) et pour le reste de tempêtes plus anciennes (1991). Les différentes formations végétales présentes au sein de ces trouées ont été cartographiées ; pour chaque faciès de végétation, un relevé phytosociologique a été réalisé. Les données ont été exploitées par des analyses multivariées (AFC, CAH…), et différents indices de la diversité en espèces d'oiseaux des parcelles (Shannon, équitabilité …) ont été calculés.

F. Arnaboldi, ONF

Forêt domaniale de Fontainebleau, réserve biologique dirigée de la Gorge aux loups : capture d'insectes par piège d'interception aérien

Si pour les trouées anciennes, les associations végétales déterminées correspondent à la végétation forestière potentielle, la plupart des trouées issues de la tempête de 1999 correspondent à des formations végétales de systèmes pionniers ou post-pionniers (pelouses, landes, fruticées…), certains de ces faciès pouvant être stables dans le temps et compromettre, au moins sous 10 ans, le retour à un stade forestier.

L'ensemble de ces études concerne les échelles « micro-habitats » et « stations forestières ». Cependant l'impact des tempêtes de décembre 1999 se fait également ressentir à un niveau plus global que l'on peut qualifier d'échelle paysagère ou « écocomplexe ». Toutefois ce niveau d'approche n'a été abordé qu'au travers d'études d'espèces ou de guildes faunistiques. Dans ce cadre, les différents projets se sont aussi bien intéressés aux espèces forestières qu'à celles liées aux milieux associés (landes et pelouses oligotrophes acides).

Approches paysagères

En Lorraine comme dans le massif de Rambouillet, les études menées en milieu forestier ont porté sur certaines guildes aviennes, pour l'essentiel les picidés, mais également sur les coléoptères liés au bois mort (une étude à Fontainebleau également), enfin sur les chiroptères. Pour l'ensemble de ces espèces, l'ONF disposait de données avant tempête ; ceci a permis de dresser un bilan comparatif dès la première saison suivant les tempêtes.

Après trois années de suivi, seuls les chiroptères semblent répondre au changement du paysage forestier mais ces éléments sont insuffisants pour conclure définitivement sur la question. Il semble que lors de la première année, les territoires de chasse ainsi que les zones de gîtes aient été complètement bouleversés : des arbres-gîtes ont été arrachés ou démembrés et les zones de chasse ont vu leur étendue réduite en 2000 par rapport à 1999. Ainsi les noctules n'ont pas été contactées par la détection ultra-sonore menée en 2000 (le printemps pluvieux de l'année 2000 peut aussi avoir eu une influence sur les ressources alimentaires). Mais déjà en 2001, les zones de 1999 étaient de nouveau occupées par ces espèces.

La conservation des arbres restés debout a permis aux espèces à vol rapide (noctules, pipistrelles) de continuer à chasser dans les zones ouvertes où subsistaient des arbres. Par contre les espèces chassant prés ou dans le feuillage comme les myotis ont régressé.

Si le stockage des grumes feuillues n'a pas eu d'influence sur l'augmentation des populations d'insectes (ces essences sont colonisées par des espèces dont l'émergence est très échelonnée dans le temps), celui des résineux a attiré énormément d'insectes (scolytidés) en un temps très court et leurs prédateurs ailés que sont les chauves-souris.

Une meilleure connaissance de la biologie des chiroptères forestiers devrait permettre de compléter ces premiers constats et leur interprétation.

L'évaluation de l'effet de la tempête sur l'avifaune et l'entomofaune nécessitera des délais plus longs. Cependant, pour les insectes orthoptères par exemple, l'ouverture de nouveaux espaces a entraîné une réaction plus ou moins rapide selon les espèces : une explosion de population d'espèces patrimoniales liées à des espaces ouverts (espaces agricoles ou landes intraforestières) a pu être constatée avec apparition d'une compétition entre espèces dès la deuxième année ; l'équilibre n'était

pas encore atteint en 2002 d'autant que le milieu lui-même évolue rapidement. À Rambouillet, *Chorthippus vagans* (le criquet des pins) a colonisé le terrain dès l'enlèvement des grumes, rapidement supplanté par *Chorthippus brunneus* et *Chorthippus mollis*.

La question de la conservation de ces espaces en l'état se pose au gestionnaire (même si elle était déjà effective pour les milieux humides des réserves biologiques dirigées).

En terme de biodiversité, les trouées créées présentent l'intérêt de « rajeunir » le milieu, permettant parfois la réapparition de phytocénoses disparues d'un grand intérêt patrimonial, tant par leur valeur intrinsèque que pour les espèces animales qu'elles peuvent abriter. Le gestionnaire forestier doit pouvoir déterminer si ce nouveau réseau d'espaces asylvatiques mérite d'être conservé et donc quelles modalités de gestion devraient y être appliquées.

C'est dans cet objectif que des études ont été conduites à Rambouillet sur des mosaïques de pelouses rases et de landes considérées comme des habitats importants pour des espèces à valeur patrimoniale telles que l'engoulevent d'Europe ou les orthoptères. Dans ce cas également, seul un suivi sur plusieurs années pourra permettre d'obtenir des résultats intéressants pour les gestionnaires.

Les études sur la biodiversité forestière, au travers des différentes approches présentées ci-dessus, ne sauraient à elles seules suffire à évaluer l'impact des tempêtes de décembre 1999. L'influence des modalités de traitement des chablis, notamment le volume et la nature de la nécromasse laissée au sol, est déterminante dans les processus de recolonisation forestière (Fischer, 1996 ; Peterken, 1996) mais également pour la biodiversité forestière.

L. Tillon, ONF

L'aureillard roux (Plecotus oritus) : une espèce que l'on peut trouver en forêt dans les fissures des arbres ou derrière les écorces décollées

Effets de l'exploitation forestière

La réponse de l'écosystème forestier à différentes modalités d'exploitation des chablis a été étudiée en Alsace, en Île-de-France et en Picardie, en cherchant à évaluer la conservation des processus fonctionnels de l'écosystème forestier (notamment pour les sols) et de certains éléments de la biodiversité (la nécromasse par exemple). Les premiers résultats présentés ci-après concernent des études menées en Alsace et en Picardie.

Les milieux concernés sont des hêtraies adultes de divers habitats forestiers relevant de la directive communautaire « Habitats, Faune, Flore ». Ces peuplements ont été touchés à des degrés divers par les chablis. Trois modalités de gestion des chablis ont été mises en place :

- aucune exploitation ;
- exploitation partielle des seules grumes : toutes les grumes ou seulement celles de haute valeur marchande sont enlevées ;
- exploitation totale : grumes, sur-billes et houppiers sont exportés en dehors de la parcelle.

Les indicateurs choisis pour mesurer la réponse des écosystèmes forestiers à ces différentes modalités de gestion des chablis sont au nombre de quatre en Alsace (régénération ligneuse, flores herbacée et bryophytique, entomofaune et avifaune) et de trois en Picardie (régénération ligneuse, flore herbacée, champignons saprotrophes et mycorhyziens).

En Alsace, les résultats sont les suivants :

- il est difficile de juger de l'impact du type d'exploitation sur la colonisation des trouées par la régénération ligneuse, car la majorité des tiges inventoriées étaient présentes avant la tempête. Toutefois, on constate d'une part que les essences pionnières (saules, sureau et bouleau) se sont rapidement installées (densité de 1000 tiges/ha à 3000 tiges/ha), et d'autre part que les semis de moins d'un an sont quasi-absents des trouées totalement exploitées ;

■ pour la flore, le nombre d'espèces présentes dans les trouées n'est pas lié au mode d'exploitation. De plus, le recouvrement global apparaît plus faible dans les sites non exploités ;

■ pour l'entomofaune, les espèces saproxyliques recensées représentent l'héritage du peuplement forestier avant tempête. La diversité la plus grande se trouve au niveau des sites où l'exploitation des chablis a été modérée. Dans les sites exploités totalement les proportions d'espèces de milieux ouverts et de milieux xérophiles dépassent les 30 % ;

■ l'absence d'exploitation est très favorable à l'avifaune. En effet, la richesse de l'avifaune est deux fois moins élevée dans les modalités « exploitation modérée » et cinq fois moins élevée dans les modalités « exploitation totale » par rapport à celle observée dans les modalités « non exploitée ».

En Picardie, les résultats les plus significatifs concernent la flore et les champignons. Pour la flore, on constate l'apparition d'espèces caractéristiques des coupes forestières ainsi que d'espèces hygrophiles liées au tassement du sol ou à la création d'ornières. Ces effets sont plus importants pour les systèmes neutrophiles sur limons que pour les formations acidiphiles.

La diversité des champignons saprotrophes lignicoles et la diversité des champignons saprotrophes sensu lato est maximale pour les zones non exploitées. L'inverse est observé pour les champignons ectomycorhyziens, car c'est pour la modalité « exploitation classique » que la diversité maximale est obtenue.

Cependant, si les premiers résultats obtenus s'avèrent prometteurs, seul un travail sur le long terme permettra d'édicter des règles de gestion et d'exploitation forestière permettant une meilleure prise en compte de la biodiversité et notamment de la partie hétérotrophe du cycle sylvigénétique (André,1997).

En conclusion

Pour la première fois, ces travaux ont en premier lieu tout simplement permis d'étudier l'impact de tempêtes sur la biodiversité forestière. En effet, le numéro spécial de la Revue Forestière Française consacré aux chablis en 1987 ne présentait aucun article sur cette thématique !

Le deuxième intérêt a été de regrouper autour d'une problématique de recherche appliquée des scientifiques, des naturalistes et des gestionnaires forestiers. En effet, les résultats obtenus (mais aussi ceux à venir) permettront de mieux comprendre les mécanismes qui concourent au fonctionnement des mosaïques forestières et à la gestion de certains compartiments de la biodiversité ou de certains processus écologiques.

Toutefois comme le montre la littérature étrangère, ces études doivent être poursuivies. Si des améliorations quant au bon fonctionnement de ce réseau de « sites ateliers » est nécessaire, notamment par l'homogénéisation des protocoles inter-sites, il appartient aux pouvoirs publics d'assurer la continuité de ces études, la gestion durable des ressources forestières et la mise en œuvre d'une gestion véritablement multifonctionnelle de la forêt française- réaffirmée dans la Loi d'orientation de 2001- en dépendent !

Jean-Marc BRÉZARD
ONF, responsable du pôle conservation de la nature direction technique
jean-marc.brezard@onf.fr

Arnaud LALANNE
museum national d'histoire naturelle, Brunoy
lalanne@mnhn.fr

Bibliographie

ANDRÉ J., 1997. La phase hétérotrophe du cycle sylvigénétique. in Guy P., Fraval A., Arbez M. (dir.) : Forêts. Paris : INRA. Coll. « Dossiers de l'environnement de l'INRA », n° 15. pp. 87-99

FISCHER A., 1996. Forschung auf Dauerbeobachtungsflächen im Wald. Ziele, Methoden, analysen, Beispiele. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, vol. 35, pp. 87-106

FISCHER A., 1998. Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. Landsberg : Ecomed. 432 p.

HERMY, M., HONNAY O., FIRBANK L., GRASHOF-BOKDAM C., LAWESSON J.E., 1999. An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implication for forest conservation. Biological Conservation, vol 91, n°1, pp. 9-22

HONNAY O., DEGROOTE B., HERMY M., 1998. Ancient forest plant species in western Belgium: a species list and possible ecological mechanisms. Belgian Journal of Botany, vol. 130, pp; 139-154.

PETERKEN G.F., 1996 : Natural woodland. Ecology and conservation in Northen temperate regions. Cambridge University Press

SCHREINER M., 2000. Vorkommen und Ausbreitung von Brombeeren sowie ihre Bedeutung für die Naturverjüngung von Tannen-Fichten-Wäldern. Dargestellt am Beispiel der Region „Oberer Neckar". Dissertation, Universität Freiburg. Agrarforschung in Baden-Württemberg, n°31. 199 p.

Reconstitution après tempê
réagit l'avifaune nicheuse ?

Le 26 décembre 1999, l'ouragan Lothar a renversé des dizaines de milliers d'hectares de forêts et a mis le monde forestier face à une tâche impressionnante : d'abord récolter au plus vite un maximum de bois tombés, puis « reconstituer » les peuplements détruits.
Quelles sont les conséquences de l'ouragan sur la biodiversité ? Comment reconstituer la forêt en préservant, voire en favorisant la faune, la flore et la biodiversité dans son ensemble ? Pour répondre à ces questions, un programme à long terme a été initié en Alsace-Lorraine en retenant l'avifaune nicheuse comme indicateur de biodiversité (voir encadré).

Les premières études menées au printemps 2000 ont mis en évidence les faits suivants :
- dans les zones fortement perturbées, l'avifaune nicheuse s'est modifiée de façon importante ; dans la hêtraie par exemple, la richesse moyenne est passée de 16,1 à 15,4 espèces et la densité totale de 68,1 à 47,3 couples aux 10 ha. Mais les changements ont surtout été qualitatifs, par remplacement d'espèces, avec une augmentation des oiseaux de milieux ouverts et buissonnants et une régression des oiseaux de vieilles forêts (Muller, 2002) ;
- mais à l'échelle d'un secteur forestier plus vaste et moyennement touché, l'impact de la tempête sur le peuplement avien est bien atténué : 43 espèces ne présentent pas de changements statistiquement significatif de leurs abondances entre 1995-96 et 2000, alors que 3 espèces régressent de façon significative (roitelet triple-bandeau, pigeon ramier et pinson des arbres) (Muller, 2003).

L'étude menée au cours du printemps 2003 concerne une parcelle forestière de la forêt domaniale de Hanau (Moselle) en cours de reconstitution. L'objectif est d'étudier avec la méthode de cartographie des territoires le peuplement avien sur l'ensemble d'une parcelle reconstituée. Cette méthode, très précise, permet d'analyser finement l'occupation des différentes zones par les oiseaux nicheurs. Le milieu est nettement différent de celui des six zones de chablis étudiées en Alsace, car il s'y trouve un mélange entre zones ouvertes, zones buissonnantes et zones en gros bois.

Repères

L'étude de l'effet des tempêtes sur la diversité du milieu forestier a été abordée à travers plusieurs projets centrés sur l'avifaune nicheuse, détaillés ci-après. Les oiseaux ont été retenus en tant qu'indicateurs de biodiversité car ils occupent l'ensemble de l'espace forestier, depuis le sol jusqu'aux branchages, ils réagissent rapidement aux modifications du milieu, ils sont relativement aisés à étudier et permettent des études quantitatives.

- Au printemps 2000, étude des oiseaux nicheurs dans deux zones fortement perturbées par la tempête (hêtraie âgée des Vosges du Nord et jeune pinède de la forêt de Haguenau) à l'aide d'indices ponctuels d'abondance ;
- au printemps 2000, étude de l'avifaune d'un secteur forestier de 406 ha moyennement touché par la tempête (21 % de la forêt avec des dégâts variables en intensité) dans les Vosges du Nord ;
- au printemps 2001, comparaison de l'avifaune nicheuse de 6 zones de chablis dans les Vosges du Nord (forêt domaniale de la Petite Pierre), avec 3 modalités d'exploitation : abandon de la totalité des bois, exploitation des grumes uniquement et exploitation complète des bois tombés ;
- au printemps 2003, étude de l'impact d'une reconstitution raisonnée d'une parcelle forestière après la tempête sur l'avifaune nicheuse (présentée dans cet article).

Chablis et reconstitution

Deux coups de chablis ont détruit la parcelle d'étude aux trois-quarts en 1999 : un orage le 2 juin, puis l'ouragan Lothar le 26 décembre ; plus de 2400 m^3 ont été exploités par les bûcherons de l'ONF en 1999 puis 2000. Les bois non commercialisables (surbilles, houppiers) ont été laissés sur place.

Le nettoyage et la reconstitution de la parcelle 321 ont fait l'objet d'une étude paysagère préalable dans le

ge de l'ONF Lorraine).

Au scénario « classique » : coupe de rectification des lisières avec andainage des rémanents en plein, engrillagement et plantation dans le sens de la pente assurant la meilleure organisation du chantier et la sécurité pour les ouvriers comme pour les engins, a été préféré un zonage de l'espace avec délimitation de trois zones totalement rasées de 5 hectares au total sur lesquelles ont été effectués un andainage mécanique ou manuel, la plantation de chêne sessile selon les courbes de niveau et une protection par grillage ou lattis-bois.

Les interventions retenues sur le site

Trois grandes zones ont été définies selon les actions retenues (voir figure page ci-contre) :

- la zone1 a été reboisée en chêne (environ 5 ha) en conservant au maximum les préexistants. Les lignes de plants ont été installées parallèlement à la route forestière avec plantation en quinconce. Un engrillagement limité à trois « parquets » figure en trait rouge sur le schéma. À l'époque de l'étude de l'avifaune, la zone 1bis n'avait pas été traitée ;
- les zones 2, peu touchées, ont été conservées en l'état et donc classées en amélioration ;
- la zone 3 est située dans la parcelle 322 voisine du site de l'étude de l'avifaune.

Plantation et engrillagements sont réduits et ne représentent qu'un tiers de la surface. Les zones peu touchées sont respectées et la régénération naturelle est favorisée au maximum. La reconstitution s'appuie sur le peuplement résiduel maintenu, les coupes de rectification sont évitées, l'impact paysager des actions entreprises est limité depuis la route forestière.

protocole

Le site d'étude

La parcelle 321 de la forêt domaniale de Hanau est située au sud-est de la ville de Bitche dans le parc naturel régional - réserve de biosphère - des Vosges du Nord. Avec la parcelle 322 voisine, cette parcelle occupe le bas du versant du rocher du Kandelfels qui fait partie de la réserve naturelle des rochers et tourbières du pays de Bitche créée en 1998. Deux sentiers traversent les parcelles et une route forestière les longe en bas de pente au nord.
L'aménagement 1995-2009 décrit le peuplement forestier comme étant sur 17 hectares une futaie régulière dense (350 m^3/ha) âgée de 120 à 150 ans et composée de résineux (épicéa et pin sylvestre) en proportion égale des feuillus (chêne sessile et hêtre). Un perchis d'épicéa et pin sylvestre occupe 1,9 hectare. Les parcelles sont classées en amélioration. L'essence-objectif est le chêne sessile.

Localisation des parcelles 321 et 322 dans la Forêt Domaniale de Hanau (parcelle 321 à droite, 322 à gauche)

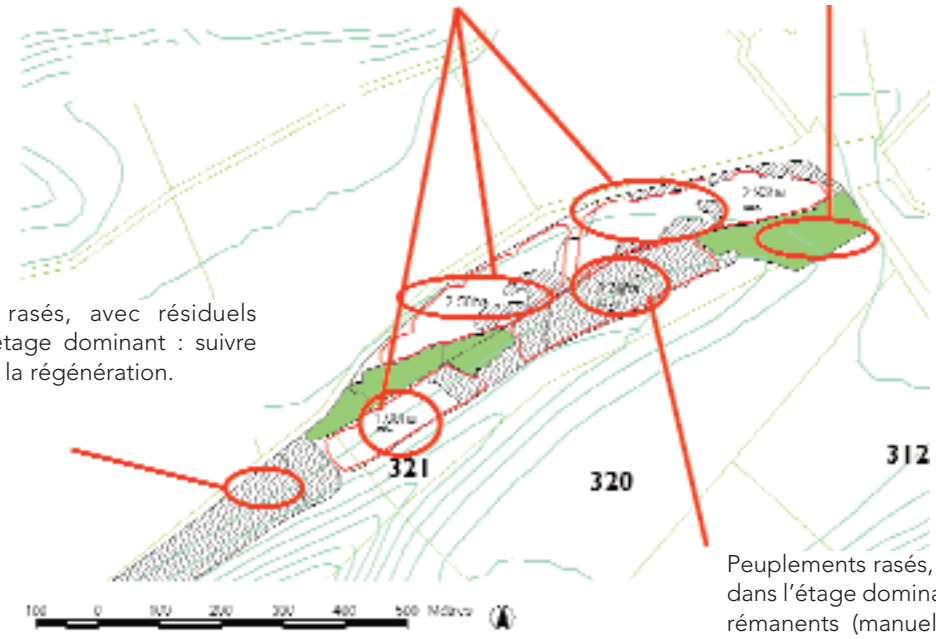
Au printemps 2003, la parcelle se présente comme un milieu forestier très varié avec des gros bois, des bois moyens et des jeunes arbres, des zones fermées, des clairières, des lisières, et un mélange entre feuillus (chênes surtout) et résineux (épicéas et pins sylvestres). Les nombreux arbres secs sur pied ont été maintenus (notamment 47 pins sylvestres, 26 chênes et 4 épicéas de plus de 40 cm de diamètre !) et il reste aussi des dizaines de chandelles de tailles variables, de souches renversées…

La reconstitution de cette parcelle s'inscrit ainsi tout à fait dans les principes énoncés dans le guide de reconstitution des forêts après tempête (Mortier, 2001) :

- conservation des arbres sur pied (y compris arbres morts) ;
- maintien des chandelles, des souches renversées, des bois morts au sol (partie des grumes non commercialisable, houppiers) ;
- régénération naturelle des zones ouvertes, avec recours à la plantation quand l'essence détruite n'était pas adaptée à la station ou que la régénération naturelle est très insuffisante.

Peuplements rasés : engrillager et planter en tenant compte des préexistants (Zone 1)

Pe
ép
su
tio... (Zone 2)



Peuplements rasés, avec résiduels épars dans l'étage dominant : suivre l 'évolution de la régénération. (Zone 3)

Peuplements rasés, avec résiduels épars dans l'étage dominant : mettre en tas les rémanents (manuel), engrillager, suivre l'évolution de la régénération, compléter éventuellement (Zone 1 bis)

Une richesse accrue

Quarante-huit espèces d'oiseaux ont été contactées dans la parcelle étudiée au cours des 16 dénombrements et des sorties complémentaires. Elles ont été classées en trois groupes :

- 36 espèces sont des passereaux ou picidés à petits territoires dont la densité a été estimée à l'issue des recensements par cartographie ;
- 8 espèces ont des territoires assez étendus (plus de 10 ha en général) ;
- 4 espèces sont de passage, mais elles sont nicheuses possibles dans le milieu étudié.

La richesse de l'avifaune de la parcelle étudiée apparaît ainsi très forte. Elle dépasse nettement les richesses obtenues dans les autres forêts recensées.

Une densité élevée

Les 36 espèces totalisent 147,5 couples sur les 18,9 ha, soit 77,9 couples aux 10 ha. Sept espèces sont dominantes, avec une densité supérieure à 5 % de la densité totale du peuplement avien : la mésange charbonnière (6,3 couples aux 10 ha), le rougegorge familier (6,3 couples), le pinson des arbres (6,1 couples), le troglodyte mignon (5,3 couples), le pouillot véloce (5,3 couples), la mésange noire (4,5 couples) et la fau-

Y. Muller

Lattis-bois protégeant les plantations de chêne

Vosges du Nord : dans une chênaie en cours de régénération (Muller, 1985) et dans une vieille chênaie-hêtraie avec des pins sylvestres et des épicéas (Muller, 1979).

Une très grande diversité

La diversité d'un peuplement avien est un paramètre qui combine richesse et densité. Plus il y a d'espèces et plus leurs abondances respectives sont voisines, plus cette diversité est élevée. Elle a été calculée avec la formule de Shannon. Sa valeur est ici de 4,69, si bien que la diversité du peuplement avien est exceptionnellement élevée (elle est comprise entre 3 et 4 dans d'autres peuplements forestiers de la région).

Caractéristiques de la population étudiée

Parmi les 36 espèces nicheuses à petits territoires, 13 espèces sont migratrices, c'est-à-dire qu'elles sont absentes des Vosges du Nord durant l'hiver. Elles totalisent 26,4 % de la population avienne. Les nicheurs arboricoles sont les plus abondants (16 espèces et 42 % de la population), suivis des oiseaux cavernicoles (14 espèces et 36 % du peuplement) et des nicheurs terrestres (6 espèces et 22 % du peuplement avien).
Les cinq espèces les plus abondantes figurent souvent parmi les oiseaux les plus fréquents des milieux forestiers des Vosges du Nord (Muller, 1997). Notons ici la 4e place du troglodyte, oiseau qui apprécie les bois morts au sol, les souches renversées…

La diversité très élevée de l'avifaune paraît liée ici à la diversité des structures de la forêt, au mélange des essences, aux lisières internes et à la présence d'un grand nombre de micro-biotopes favorables tels les arbres secs, les chandelles et les souches renversées. Quelques observations précises ont été effectuées, avec la découverte des nidifications d'un couple de mésange huppée et d'un couple de rougequeue à front blanc dans une chandelle chacun, et d'un couple de grimpereau des bois derrière l'écorce d'un gros chêne sec sur pied.

Y. Muller

Grimpereau des bois

Conclusion

La tempête de juin 1999 puis l'ouragan Lothar de décembre 1999 ont causé de lourdes pertes à la parcelle 321 de la forêt domaniale de Hanau. Le peuplement, globalement régulier avant les tempêtes, s'est retrouvé totalement « déstabilisé » au niveau de sa structure et de sa régularité. Des hectares entiers ont été renversés dans les parties basses de la parcelle alors que les arbres le long d'une barre rocheuse ont été un peu abrités et sont presque tous restés en place. Quelques arbres isolés ou bouquets d'arbres en pleine parcelle ont résisté, ainsi que des jeunes gaulis-perchis d'épicéas et de pins sylvestres. Après exploitation des chablis et « nettoyage » de la parcelle, il reste un milieu fort diversifié avec des zones de gros bois, des milieux clairiérés, des zones buissonnantes, de nombreuses souches renversées, des chandelles de hauteur très variable. Quelques arbres restés sur pied ont péri suite au « stress » provoqué par les deux tempêtes, à une déstabilisation de leur base ou en raison d'une exposition brutale en pleine lumière. Si bien qu'au printemps 2003, la parcelle abrite un peu plus de 4 arbres secs à l'hectare !

Le dénombrement de l'avifaune nicheuse montre que ce peuplement forestier, très appauvri au niveau de son capital « gros bois », a gagné en biodiversité, au moins sur le chapitre de l'avifaune. Le peuplement avien nicheur du printemps 2003 est d'une grande richesse, densité et diversité, à un niveau égal ou supérieur à celui des meilleurs recensements effectués dans les Vosges du Nord (même méthode et même observateur dans presque tous les cas).

Cette richesse de l'avifaune nicheuse résulte sans aucun doute de la sagesse du gestionnaire pour la reconstitution de cette parcelle. Bien sûr, les chablis ont été exploités et le « nettoyage » qui a suivi a même été effectué en partie mécaniquement, mais un maximum d'éléments sont restés en place : les arbres secs et les chandelles n'ont pas été coupés, les

souches renversées ont été maintenues, les branchages ont été simplement entassés (et non brûlés). Les plantations de jeunes chênes complètent la régénération naturelle. À titre de comparaison, dans d'autres zones de chablis qui ont été totalement exploitées et nettoyées, la richesse et la densité de l'avifaune sont bien plus faibles (4 fois moindres dans certaines zones !).

Cette étude met en évidence l'importance des microbiotopes sur l'avifaune nicheuse à une échelle bien plus petite (parcelle) que celle des aménagements (massif forestier). Il suffit de laisser en place une diversité d'éléments comme les arbres secs, les chandelles, les souches renversées, de maintenir des bouquets de grands arbres, les zones buissonnantes, les petits perchis... donc globalement de conserver une grande diversité de structures dans les boisements de la parcelle pour obtenir une zone d'une grande richesse avifaunistique.

Dans les années à venir, la diversité de l'avifaune va sans doute légèrement diminuer du fait de la croissance de la végétation qui entraînera la disparition des zones ouvertes de la parcelle, mais la grande diversité de structures (mélange de gros bois et jeunes arbres) et les nombreux micro-biotopes favorables (arbres secs, chandelles, souches) devraient permettre de maintenir un peuplement avien riche et dense.

Yves MULLER
LPO Alsace
y.muller@ac-nancy-metz.fr

Y. Muller

Chandelle ayant abrité un nid de rouge-queue à front blanc

Bibliographie

MORTIER F. 2001.- Pour une stratégie de reconstitution durable. Reconstitution des forêts après tempêtes : guide. Paris : ONF. 148 p.

MULLER Y., 1979.- Étude qualitative et quantitative de l'avifaune nicheuse d'une forêt mixte de 10 ha dans les Vosges du Nord. Ciconia, vol. 3, pp. 95-115

MULLER Y., 1985. L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord. Sa place dans le contexte médio-européen. Thèse Doctorat en Sciences, Université de Dijon : 318 p.

MULLER Y., 1997.- Les oiseaux de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. Ciconia, vol. 21 pp. 1-347

MULLER Y., 2002.- L'ouragan Lothar et l'avifaune forestière nicheuse. I. Effets immédiats dans deux zones fortement perturbées. Ciconia, vol. 26, n° 2, pp. 73-84

MULLER Y., 2003.- L'ouragan Lothar et l'avifaune forestière nicheuse : II. Étude de l'impact dans un secteur de 406 ha moyennement perturbé des Vosges du Nord. Alauda, 71, pp. 201-206

effets à court terme des .999 sur les populations de chevreuils

J.L. Aubert, Cemagref

À la recherche des chevreuils munis de collier émetteur dans une zone très dévastée du territoire de Trois-Fontaines

Après le passage des ouragans Lothar et Martin fin 1999 sur le territoire national s'est engagé un débat au sujet de leurs conséquences sur la grande faune et des mesures à prendre pour la gestion sylvo-cynégétique. Des études scientifiques inédites ont été menées pour clarifier la situation.

Les tempêtes sont des événements majeurs pouvant modifier fortement les équilibres faune-flore par les changements fondamentaux qu'ils causent dans les milieux forestiers. Dans les semaines qui ont suivi ces événements, les chasseurs et les sylviculteurs ont émis des avis profondément opposés quant aux conséquences du passage de ces tempêtes sur les cervidés. Les chasseurs demandaient une réduction voire un arrêt des prélèvements, arguant du fait qu'une forte mortalité des animaux était observée et que les chevrettes avaient subi un stress affectant la reproduction. Les forestiers au contraire réclamaient des augmentations de prélèvement alléguant que peu d'animaux avaient été tués, et que l'ouverture du milieu par la tempête améliorerait la qualité de l'habitat. En l'absence d'études précises en France sur les conséquences attendues des tempêtes sur les populations de cervidés, le Ministère de l'agriculture a confié dans un premier temps à un groupe d'experts la réalisation d'un premier état des lieux (Drouineau et al, 2000 ; Denis, 2000). Puis le groupement d'intérêt public GIP-ÉCOFOR a lancé un appel d'offres en juin 2000 sur l'effet des tempêtes sur la dynamique des populations de chevreuils. Une étude réalisée en collaboration entre le CNRS, l'ONCFS, le Cemagref et l'ONF a donc été lancée.

Les résultats présentés ici s'appuient sur les données issues des sites de Trois-Fontaines (51) et Chizé (79), qui étaient déjà suivis avant la tempête de 1999. Sur ces deux sites d'études, les populations de chevreuils sont suivies depuis plus d'une vingtaine d'années grâce à la méthode de capture-marquage-recapture (CMR) dans le cadre d'un programme à long terme mené par l'ONCFS et le CNRS.

Description des sites d'études

Le TEE (Territoire d'études et d'expérimentations) de Trois-Fontaines, d'une surface de 1 360 ha, est situé en Champagne humide dont le climat et les conditions de sol sont favorables aux chênes (sessile et pédonculé), hêtre, feuillus précieux (frêne, érable sycomore, merisier), et pour les fonds de vallons à l'aulne. La production moyenne avoisine 6 m³/ha/an. La chênaie de type mésophile est un milieu riche pour le chevreuil de par la diversité des espèces végétales présentes. Les peuplements feuillus qu'il comporte sont tous issus de taillis sous futaie, généralement assez pauvres en réserves de chênes (20 à 40 tiges/ha de chêne et hêtre), et la conversion vers la futaie a été initiée en 1971 pour être véritablement effective à partir de 1986. Les peuplements forestiers étant majoritairement régularisés dans les bois moyens et les gros bois, l'effort de régénération entrepris est de ce fait important, puisqu'il concerne au total 620 ha ouverts (ou à ouvrir) sur la période 1993-2007. L'ouverture du milieu forestier était par conséquent déjà marquée avant le passage de la tempête.

La forêt de Chizé se situe au sud du département des Deux-Sèvres à environ 70 km à l'est de La Rochelle et à 20 km au sud de Niort. Bien que le climat soit océanique, ce massif est plutôt pauvre tant du point de vue de sa productivité forestière (<4 m³/ha/an) que de sa capacité d'accueil vis à vis du chevreuil. Cette forêt constitue le plus important massif forestier d'un seul tenant de la région (4 820 ha). La réserve couvre une superficie de 2 640 ha, entièrement clôturés, dans la partie sud de la forêt domaniale de Chizé, soit à peu près la moitié de la surface de ce massif.

Importance des dégâts causés par le passage des tempêtes

Dans le territoire d'études et d'expérimentation de Trois-Fontaines, une cartographie précise des dégâts, basée sur la variation du couvert, a été réalisée en comparant des photographies aériennes issues de deux missions (août 1999 et juin 2000), puis en affinant les résultats par une visite de terrain. L'ensemble des données a été reporté sur SIG.

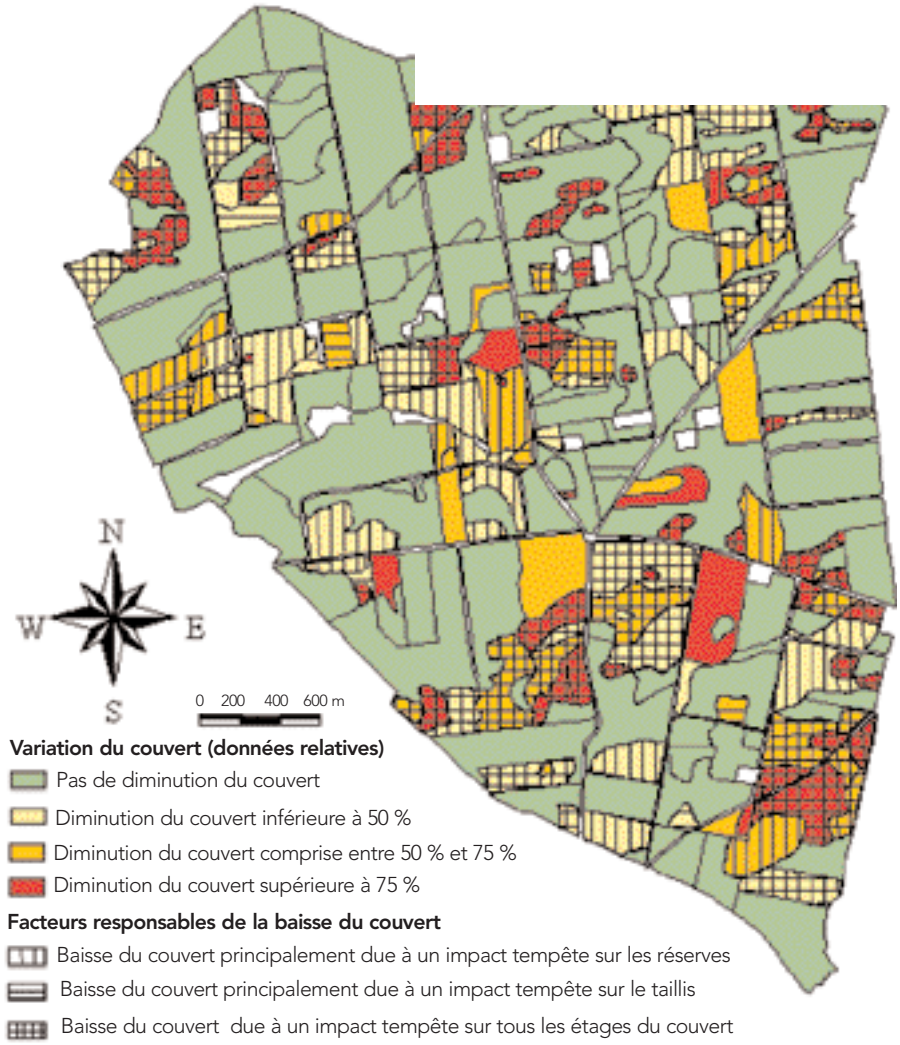


Fig. 1 : variation relative du couvert suite à la tempête de 1999 à Trois-Fontaines (51)

Sur l'ensemble du territoire, soit 1 360 ha, 465 ha ont subi une diminution du couvert entre les deux périodes (figure 1) due pour 86 % au passage de la tempête. L'impact a été très marqué puisque la diminution de couvert avoisine 50 % sur 59 % de la surface dégradée. Comme le montre la figure 1, les dégâts ont touché l'ensemble de la réserve, allant de dégâts disséminés (chute de réserves éparses) à des peuplements entièrement dévastés (ceux-ci pouvant parfois former plusieurs dizaines d'ha d'un seul tenant). Ils ont affecté toutes les natures de peuplements à l'exception des zones qui étaient déjà en régénération, en touchant à des degrés divers à la fois les réserves et le taillis. L'ONF estime le volume de chablis à 27 995 m³ de bois d'œuvre, représentant huit fois la possibilité annuelle.

Dans le cas de la réserve de Chizé, l'évaluation des dommages repose sur la photo interprétation de la photographie aérienne de 2000, complé-

zone sud ce qui correspond au tiers de la surface (figure 2). Les dégâts les plus spectaculaires concernent cette zone sud dans laquelle des parcelles de 15 à 20 ha ont été entièrement détruites. Le volume de chablis estimé par l'ONF avoisine 26 083 m³. Les surfaces atteintes par grandes classes de diminution de couvert se répartissent ainsi : 1838 ha avec moins de 15 %, 311 ha entre 15 et 25 %, 76 ha entre 25 et 50 %, 285 ha entre 50 et 75 % et 138 ha avec plus de 75 %.

Impact des tempêtes sur les populations de chevreuils

Une absence de mortalité importante

Immédiatement après le passage des tempêtes, des enquêtes au niveau national ont été diligentées à la fois par l'ONF et l'ONCFS afin d'apprécier la mortalité supposée des populations de chevreuils consécutive aux tempêtes. Il ressort de ces enquêtes que l'on peut considérer comme négligeable la mortalité directe constatée (Guibert, communication personnelle ; Klein F. données non publiées). Par contre les tempêtes ont eu pour conséquence immédiate un accès difficile pour les forestiers et les chasseurs à la plupart des forêts pendant un mois voire plus selon les secteurs. Par conséquent, la réalisation des plans de chasse du chevreuil a été en moyenne plus faible pour la saison 1999-2000 (78 % par rapport à une moyenne auparavant de 91 % dans l'Est de la France. Source : réseau de correspondants Cervidés-Sangliers). Au niveau national, les évolutions des plans de chasse avant et après tempêtes montrent bien que les prélèvements ont eu tendance à stagner entre 1999 et 2000 et que la baisse moyenne de réalisation du plan de chasse est voisine de 15 % (Klein et al., 2003). Cette situation a abouti à une épargne des populations. Notons enfin que sur les deux sites d'études de Chizé et Trois-Fontaines malgré une forte pression d'observation, aucun cadavre n'a été retrouvé.

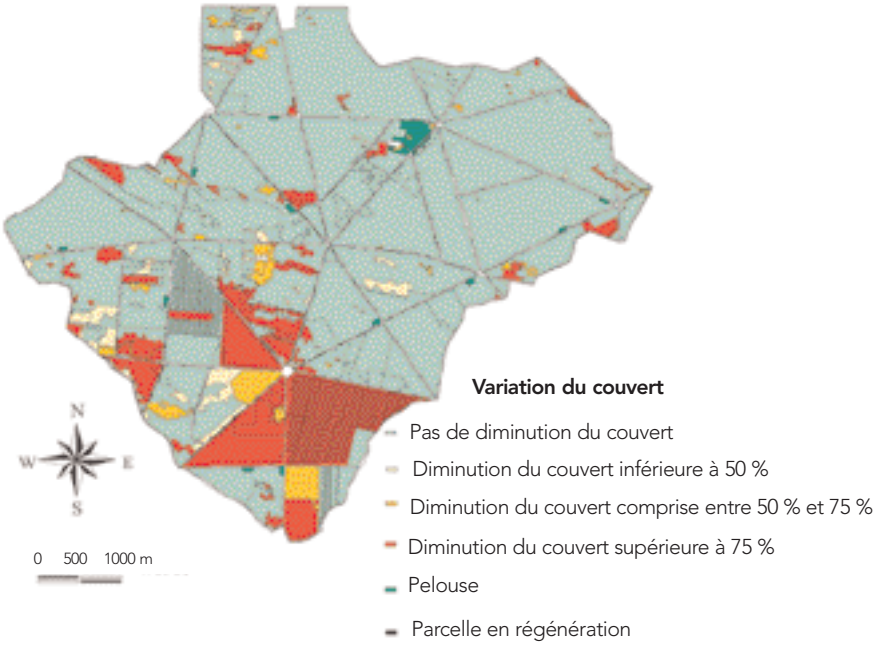


Fig. 2 : cartographie des dégâts de la tempête à Chizé (79)

protocole

Suivi des populations de chevreuils et de leurs habitats

La dynamique des populations de chevreuils est étudiée sur les deux sites à partir de marquage individuel d'animaux repris lors de captures en hiver (en moyenne 10 par site et par an). Ces suivis sont réalisés depuis plus de 20 ans dans le cadre d'un programme mené par le CNRS et l'ONCFS. L'effectif adulte présent en mars est estimé selon un modèle de capture-marquage-recapture (méthode CMR). La fécondité des chevrettes à Chizé a été estimée à partir d'examens échographiques lors des reprises hivernales. La croissance juvénile est mesurée par pesée des chevrillards lors des captures. Les taux de survie des différentes classes d'animaux (faons, chevrillards, adultes et sénescents) sont estimés par les méthodes basées sur le CMR à partir de suivis à long terme.
L'utilisation des domaines vitaux à Trois-Fontaines a été menée grâce au suivi de six chevrettes adultes préalablement équipées de colliers émetteurs avant le passage de la tempête. L'évolution des disponibilités alimentaires à Trois-Fontaines se fait à partir d'un réseau de placettes permanentes depuis 1995 par la méthode d'Aldous. Sur chacune des placettes circulaires de rayon 3,57 m (surface 40 m²) sont estimés en fin d'hiver le recouvrement des espèces végétales accessibles à la dent du chevreuil (hauteur<1,20 m).

Effets sur la dynamique des populations

Une absence d'effets sur les taux de survie des chevreuils

La comparaison des taux de survie moyens obtenus au cours des années précédant le passage de la tempête à ceux obtenus à partir des données de la campagne de capture de janvier 2000 n'a montré aucun effet notoire sur les deux sites de Trois-Fontaines et Chizé (Gaillard, Duncan et al, 2003). Les tempêtes n'ont eu aucun effet sur la survie des chevrillards (jeunes de l'année) et des femelles adultes. Il n'y a pas eu également d'influence forte sur la survie des mâles adultes et des vieilles chevrettes du passage des tempêtes sur les sites étudiés. Seul un léger effet négatif aurait été détecté sur la survie des vieux mâles. Le constat à retenir est donc une absence d'effet significatif de la tempête sur la survie du chevreuil.

Une absence d'effets sur la fécondité des chevrettes

À Chizé, des échographies réalisées lors des reprises sur des chevrettes (n=22 en janvier 2000) ont permis d'estimer la probabilité pour les femelles d'être gestantes, et d'évaluer la taille de la portée. Les comparaisons avant et après tempêtes n'ont pas permis de mettre en évidence un quelconque effet et ceci quelles que soient les classes d'âge des chevrettes considérées (primipares, adultes ou sénescentes).

Un effet variable sur la croissance juvénile des chevrillards sur les deux sites

La tempête semble avoir eu un effet immédiat et positif à Chizé sur la croissance des jeunes faons dans les milieux les plus riches alors qu'aucun effet n'a été détecté sur les milieux plus pauvres. À Trois-Fontaines également, une absence d'effet a été enregistrée. Ces analyses préliminaires

Effets sur l'occupation de l'espace

L'augmentation des disponibilités et sans doute un meilleur refuge ont eu pour effet immédiat une utilisation préférentielle par le chevreuil au sein de leur domaine des zones sévèrement touchées (Widmer, Saîd-Delcros et al., 2003). Il a été constaté que de nombreuses petites ouvertures ont été sur-sélectionnées par le chevreuil alors que les grandes trouées n'ont pas constitué une source d'attraction aussi importante. Ce constat confirme bien les préférences de cette espèce pour les lisières. Les animaux ont préféré nettement les secteurs avec les chablis, et les domaines vitaux hivernaux ont diminué de moitié (figure 3). Nous n'avons pas de données directes sur

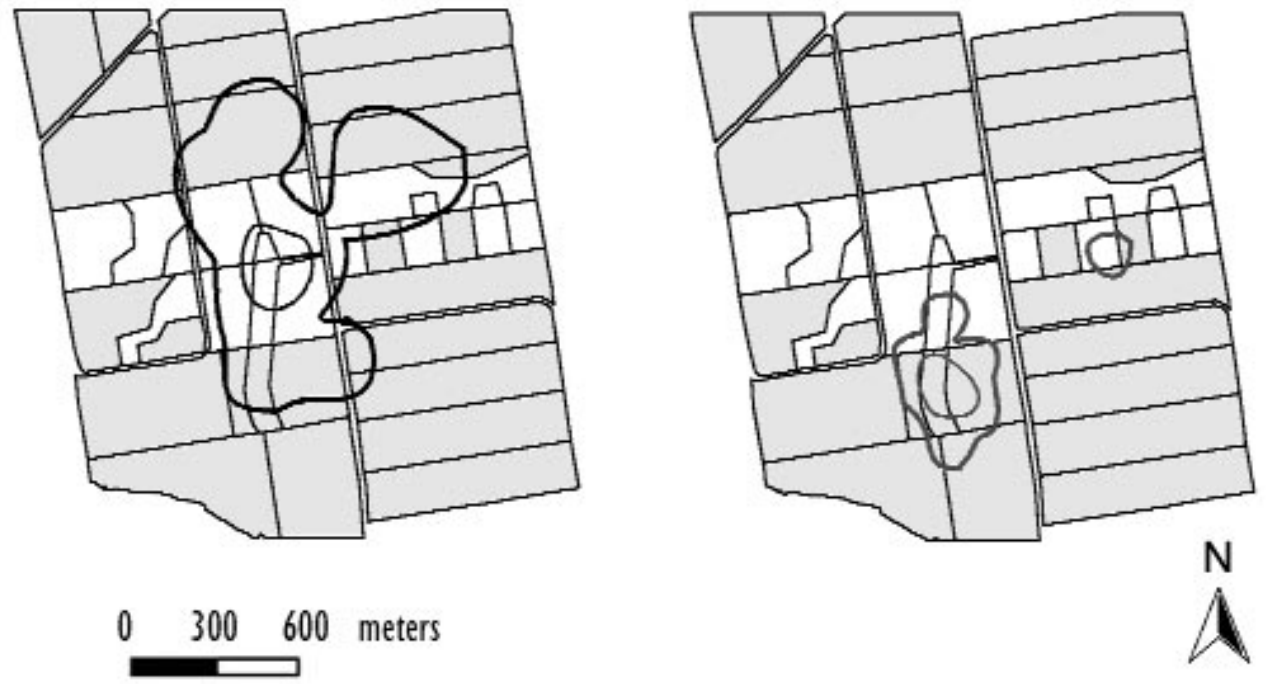


Fig. 3 : exemple de réaction d'un chevreuil à la modification du couvert : avant tempête carte de gauche, domaine vital centré sur les zones les plus ouvertes, en cours de régénération (en blanc) ; après tempête, carte de droite, réduction de la surface utilisée et glissement vers les zones de chablis (en gris)

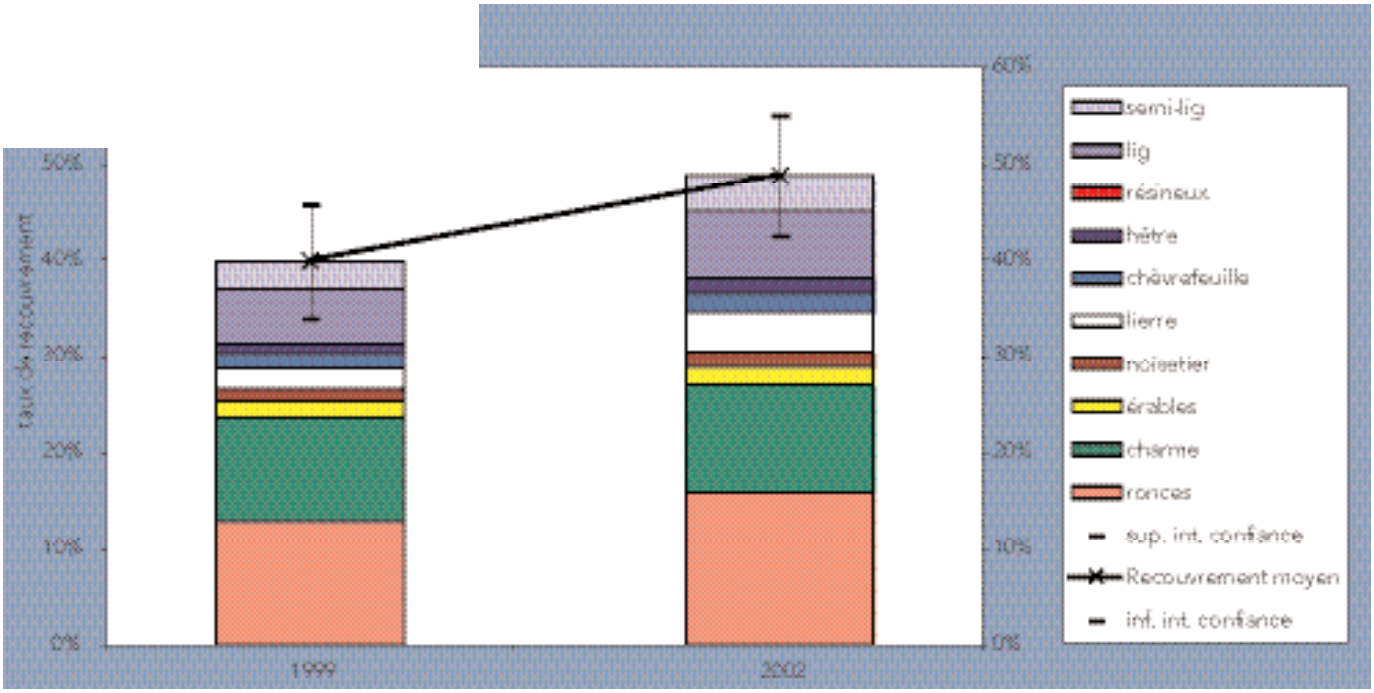


Fig. 4 : comparaison des disponibilités alimentaires moyennes avant et après la tempête (+2 saisons de végétation) sur un réseau de 128 placettes communes sur le TEE de Trois-Fontaines. La catégorie dénommée « lig » correspond aux ligneux de type frêne, tilleul, tremble

un changement éventuel de régime alimentaire hivernal, mais il était clair que le lierre du haut des arbres, accessible aux chevreuils pour la première fois, était très apprécié.
Toutefois, une telle utilisation différentielle des zones selon l'importance des chablis n'a pas affecté la localisation globale des domaines vitaux. En effet, les chevreuils sont restés fidèles à leurs domaines vitaux, même lorsque les milieux ont été profondément perturbés.

Effets sur les disponibilités alimentaires

La tempête a eu sans aucun doute pour effet principal une augmentation de l'ouverture du milieu, ce qui a eu pour conséquence une amélioration de la quantité de ressources alimentaires. La comparaison de l'importance des disponibilités alimentaires en période hivernale avant et après tempête montre à l'évidence qu'au niveau global les disponibilités alimentaires évaluées en terme de recouvrement d'espèces ont augmenté comme le montre la figure 4 ci-dessus.

Les principales espèces ayant profité du passage des tempêtes sont surtout des espèces héliophiles ou de demi-ombre telles que les ronces, le chèvrefeuille, le tremble mais aussi d'autres espèces plus tolérantes à l'ombre comme le charme, le noisetier.

Recommandations de gestion

En matière de gestion des populations, il convient de distinguer les massifs en cours de colonisation par le chevreuil avant la tempête de ceux proches de la saturation.
Dans le premier cas, les prélèvements doivent accompagner le développement de la qualité des habitats avec une montée en puissance des plans de chasse.

Dans les massifs saturés ou proches de déséquilibres, les gestionnaires doivent faire preuve d'une vigilance toute particulière. Les plans de chasse proposés à l'issue de la tempête doivent être au moins équivalents à ceux requis avant la tempête. Il convient également de prendre en compte les déficits de prélèvement consécutifs à la non réalisation des plans de chasse lors du passage de la tempête voire de la campagne qui a suivi. Dans tous les cas, ces mesures doivent s'accompagner de la mise en œuvre de méthodes de suivis des populations tant du point de vue des variations d'effectifs que de celles permettant de suivre l'état d'équilibre entre ces populations et leurs habitats.

Philippe BALLON
Léo CASTEX
Cemagref, unité de recherches
Écosystèmes forestiers et paysages,
Nogent-sur-Vernisson
philippe.ballon@nogent.cemagref.fr
leo.castex@nogent.cemagref.fr

Olivier WIDMER
Sonia SAÏD-DELCROS
ONCFS, CNERA Cervidés-Sanglier
Bar le Duc
o.widmer@oncfs.gouv.fr
sonia.said@oncfs.gouv.fr

Pascal NORMANT
ONF, agence régionale
de Bretagne, Rennes
pascal.normant@onf.fr

Bilan réalisé à partir de différentes sources : enquêtes réalisées par l'ONF et l'ONCFS entre janvier et juin 2000, enquêtes du réseau de correspondants cervidés sanglier ONCFS, FDC, étude pluridisciplinaire GIP-ÉCOFOR « Évaluation des conséquences immédiates des tempêtes sur l'état des plantes ligneuses ainsi que sur l'utilisation de l'espace et la dynamique des populations de chevreuils en forêt caducifoliée de plaine » associant le CNRS (Chizé et Lyon), le Cemagref (Nogent), l'ONCFS (CNERA Cervidés-Sanglier) et l'ONF.

synthèse

Le passage des violentes tempêtes de 1999 n'a donc pas causé de mortalité directe significative chez les chevreuils, qui s'additionnerait à la mortalité attendue dans les conditions normales, sauf peut être chez les vieux mâles, et la croissance des faons a été comparable aux meilleures des vingt dernières années. Comme les deux populations de Chizé et Trois-Fontaines avaient en 1999 des performances démographiques comparables, nous pouvons conclure que la tempête n'a pas eu d'impact négatif sur la survie ou la reproduction des populations de chevreuils en dépit de différences liées à la productivité de l'habitat. Il est possible au contraire que pendant quelques années la tempête aura pour effet d'augmenter les taux de recrutement. La préférence marquée pour les chablis suggère que le mécanisme en jeu a bien été une amélioration de la qualité des habitats. On retiendra enfin que l'ouverture du milieu consécutive à la tempête a eu pour conséquences immédiates une augmentation importante des disponibilités alimentaires.

Même si ces constats précis ne concernent que les deux populations étudiées, à l'échelle nationale les enseignements suivants à court terme semblent acquis :

- compte tenu de l'épargne due à la diminution de la pression de chasse et à l'absence de mortalité avérée, les populations de chevreuil ont profité de ce phénomène, ce qui se traduit par une stagnation des effectifs voire une légère augmentation.

- Dans les milieux saturés précédemment au passage des tempêtes, des effets très bénéfiques sont attendus sur la dynamique des populations en raison de l'amélioration très conséquente de la capacité d'accueil des milieux forestiers. Dans ces situations, une augmentation de la proportion de femelles reproductrices et une amélioration de la survie des jeunes et des adultes sont prévisibles.

- Dans les massifs en cours de colonisation par le chevreuil ou faiblement peuplés, peu d'effets sur la productivité des populations de chevreuils sont attendus.

À moyen terme (5 à 10 ans) les effets bénéfiques constatés risquent de s'estomper compte tenu de la fermeture des milieux entraînant une diminution des disponibilités alimentaires et donc un risque de saturation du milieu.

Remerciements

Cette recherche a été réalisée grâce au soutien financier du GIP-ÉCOFOR. Nos remerciements s'adressent à Jean-Michel Gaillard, François Klein et Patrick Duncan pour la relecture du manuscrit.

Bibliographie

DENIS M., 2000. Tempête et cervidés. In : Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts et sur leur reconstitution. Paris : INRA. Coll.« Dossiers de l'environnement de l'INRA », n° 20 pp 125-129

DROUINEAU S., LAROUSSINIE O., BIROT Y., TERRASSON D., FORMERY T.et ROMAN-AMAT B., 2000. Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts et sur leur reconstitution. Paris : INRA. Coll. « Dossiers de l'environnement de l'INRA », n° 20, 336 p.

GAILLARD J.M., DUNCAN P., DELORME D., VAN LAERE G., PETTORELLI N., MAILLARD D., RENAUD G., 2003. Effects of hurricane Lothar on the population dynamics of European roe deer. Journal of Wildlife Management., vol. 67, n° 4, pp 767-773

WIDMER O., SAÏD-DELCROS, MIROIR J., DUNCAN P., GAILLARD J.M. et KLEIN F. (sous presse). The effects of hurricane Lothar on habitat use of roe deer. Forest Ecology and management.

DUNCAN P. et GAILLARD J.M., 2002. Conséquences à moyen terme de la tempête Lothar (décembre 1999) sur les équilibres entre populations de chevreuils et forêts de plaine – Évaluation de l'impact et recherches sur les processus écologiques pour des prédictions à long terme. Rapport final GIP-ÉCOFOR, 14 p. +annexes

KLEIN F. et TOÏGO C., 2003. Les tempêtes de décembre 1999 et la gestion du chevreuil : quels enseignements ? In : Rapport scientifique 2002 de ONCFS. Paris : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage. pp. 25-28

Sécheresse et canicule 2003 : du diagnostic à la gestion

Dès les premiers jours du mois d'août 2003, des gestionnaires forestiers ont manifesté des inquiétudes quant aux conséquences de la sécheresse persistante pour les peuplements forestiers, tout particulièrement pour les jeunes plantations. Pendant la phase caniculaire de la première quinzaine d'août et dans les semaines qui ont suivi, des symptômes très alarmants ont été relevés et très largement relayés par les médias. La généralisation, dès la fin du mois d'août, sur de nombreuses essences, de rougissements, de dessèchements et de chutes de feuilles et d'aiguilles a été interprétée un peu trop rapidement comme le signe de dégâts très importants sur les peuplements.

Les forêts françaises ont subi durant la première quinzaine d'août 2003 de très hautes températures, exceptionnelles tant en intensité qu'en durée. Cet épisode s'est déroulé dans un contexte de déficits hydriques très importants sur la presque totalité du territoire.

Un diagnostic délicat

Les expériences antérieures de sécheresses importantes (1947, 1976…) et de fortes températures (août 1998…), n'offrent pas de références comparables pour appréhender les conséquences sur les peuplements forestiers de la conjonction inédite de ces deux facteurs. D'autre part, exception faite des confusions éventuelles évoquées en encadré, les symptômes provoqués au niveau des houppiers par la crise climatique ne correspondent pas à une véritable pathologie mais plutôt à un mécanisme d'adaptation du végétal : dans des conditions physiologiques difficiles, le sacrifice d'organes caduques (feuilles ou aiguilles) permet de différer ou de limiter l'apparition de dégâts irréversibles sur des organes pérennes (voir encadré page suivante).

Un diagnostic précis

Les effets de la sécheresse et des fortes températures se traduisent visuellement par des changements de couleur du feuillage (jaunissement, rougissement ou brunissement), des dessèchements et des chutes de feuilles ou d'aiguilles. Mais ces symptômes ne sont pas spécifiques et peuvent être provoqués par quantité d'autres problèmes phytosanitaires :

- attaques des organes foliaires par des pathogènes variés (oïdium du chêne, maladie des bandes rouges sur pin…) ou de multiples ravageurs (orcheste du hêtre, hylésine du pin…) dont les conséquences sont habituellement moins graves que celles des problèmes d'origine climatique ;

- problèmes phytosanitaires intervenant au niveau des branches et du tronc (scolytes, hylobe, dégâts de grêle…) ou du système racinaire (armillaire, tassements de sol…) pour lesquels les chances de survie de l'arbre sont souvent très faibles. Rappelons que les problèmes préexistants accentuent la sensibilité de l'arbre aux difficultés climatiques et en exacerbent les effets.

Les phénomènes les plus précoces et les plus impressionnants en 2003 n'étaient pas consécutifs aux conditions climatiques puisqu'il s'agissait d'un rougissement massif de plusieurs centaines d'hectares de pin sylvestre au sud du massif de Fontainebleau, dû au développement d'un pathogène après dégâts de grêle de printemps, et surtout du rougissement très rapide, un peu partout en France, des houppiers de marronniers d'Inde, conséquence de la pullulation d'un nouveau ravageur, la teigne mineuse du marronnier.

Il importe donc de ne pas attribuer tous les symptômes visibles à la crise climatique et de faire des diagnostics précis de l'état sanitaire des peuplements.

Récupération et suites

Ces symptômes, qui résultent de la réaction de l'arbre à ce stress, ne donnent pas d'indication sur l'état physiologique de l'arbre après cette épreuve et sur ses chances de survie. Pendant la phase de récupération, les arbres restent faibles, même si les symptômes visuels s'estompent, et luttent difficilement contre l'installation de pathogènes ou de ravageurs même secondaires. Les potentialités de récupération sont souvent faibles chez les résineux (y compris dans les peuplements adultes en cas de rougissement total des aiguilles), car leurs capacités de nouvelle feuillaison et d'émission de nouvelles pousses sont très limitées, voire pour certains inexistantes.

Dans de très nombreux cas, au moins tant qu'il n'y a pas intervention irréparable de ravageurs ou de pathogènes secondaires, les dommages visibles aux organes aériens ne permettent pas d'apprécier si l'arbre pourra récupérer et survivre. L'évolution de chaque arbre dépendra fortement de son état sanitaire antérieur et des conditions climatiques et phytosanitaires des prochaines années. Les risques de dégradation de l'état sanitaire et de mortalité vont donc perdurer pendant plusieurs années ; ils seront tout particulièrement importants au début de la saison de végétation 2004.

Mise en place d'un dispositif d'évaluation et de suivi

Le dispositif mis en place en septembre 2003 par le Département de la santé des forêts cherchait

- d'une part à établir un premier état des lieux, tant que les symptômes n'étaient pas perturbés par les rougissements automnaux, en précisant la répartition spécifique et spatiale des symptômes observés,
- et d'autre part, à organiser pour plusieurs années le suivi de l'évolution des tiges concernées (mortalité ou récupération).

Le manque d'eau et les températures élevées ont des effets physiologiques complexes sur les arbres forestiers

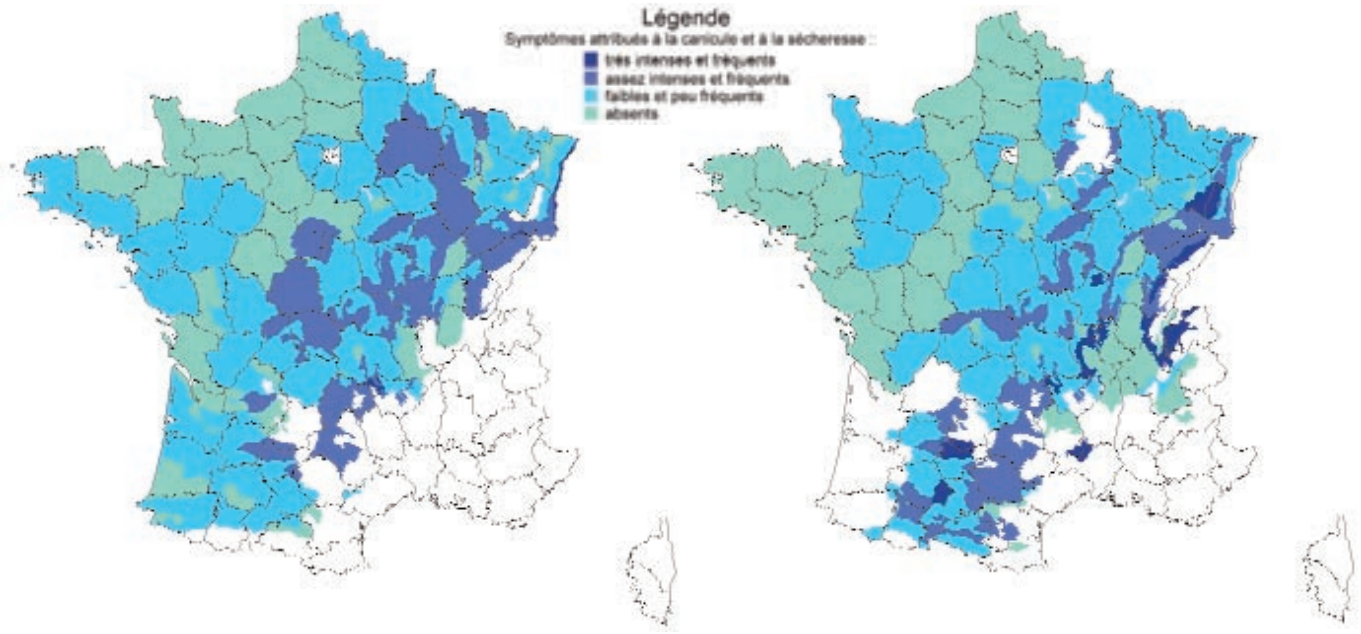
Le fonctionnement de l'arbre repose en grande partie sur la circulation interne de l'eau, dont le moteur est l'évapotranspiration au niveau des feuilles. Lorsque la disponibilité en eau diminue, l'arbre est susceptible de réguler son fonctionnement hydrique, avec une efficacité très variable selon les essences et selon les provenances, en fermant les stomates des feuilles, donc en limitant son évapotranspiration et, par conséquent, le prélèvement d'eau dans le sol.

Lorsque le **stress hydrique** devient plus intense, la conduction de l'eau dans les vaisseaux du bois peut être affectée. La tension entre les racines, incapables d'absorber de l'eau, et les feuilles où la demande est très forte, provoque des ruptures de la colonne de sève dans les vaisseaux. Les bulles d'air qui se forment (embolie des vaisseaux) empêchent la circulation de la sève brute. Quand le pourcentage de vaisseaux touchés devient trop important, les feuilles se dessèchent et tombent, parfois sans jaunissement préalable.
L'embolie peut aussi concerner des organes pérennes (rameaux ou tiges), avec des effets réversibles ou irréversibles (mortalité de l'organe).
La fermeture des stomates a pour effet secondaire d'interrompre la circulation de gaz carbonique et donc de stopper la photosynthèse, la croissance de l'arbre et sa capacité à accumuler des réserves. Un épisode de stress hydrique est donc toujours un facteur d'affaiblissement de l'arbre.

Les **fortes températures** accélèrent le dessèchement des feuilles et interviennent aussi spécifiquement sur la physiologie, notamment en inhibant la photosynthèse puis en dégradant les pigments, en particulier les chlorophylles.
Pour ce qui est de la conjonction des deux facteurs, la forte insolation de feuilles desséchées aux stomates fermés s'est traduite par une température de surface extrêmement élevée qui a "grillé" les feuilles.

Ce dispositif repose sur les éléments suivants :

- les correspondants-observateurs ont synthétisé par essence et par région forestière de l'Inventaire forestier national l'ensemble des observations qu'ils avaient effectuées d'août à octobre 2003. Leurs observations sont encore en cours d'exploitation mais les cartes provisoires relatives aux chênes pédonculé et sessile sont présentées. Il leur a été demandé d'indiquer, pour chaque unité et pour les peuplements adultes de chacune des principales essences forestières, si les symptômes attribués à la canicule et à la sécheresse étaient très intenses et fréquents, assez intenses et fréquents, faibles et peu fréquents, ou absents (voir cartes ci-après). Il faut bien noter que, comme indiqué plus haut, ces symptômes ne doivent pas être interprétés comme des indices de dommages futurs. Ils caractérisent les peuplements qui ont développé une réaction de défense face aux conditions climatiques et l'intensité de cette réaction. Les observations ultérieures s'intéresseront à la récupération des arbres concernés et donc à l'efficacité des réactions de défense ;
- sur une sélection des 520 placettes du réseau européen de suivi des dommages forestiers et sur la centaine de placettes du réseau RENÉCOFOR, une notation complémentaire a été effectuée courant septembre pour les feuillus et avant fin octobre pour les résineux pour caractériser l'effet visuel immédiat (rougissement, dessèchement ou chute de feuilles ou d'aiguilles). Les notations de l'aspect visuel des houppiers durant les prochaines années permettront de suivre l'évolution individuelle des tiges et de caractériser les relations entre les symptômes visuels précoces et les



Synthèse cartographique des observations des correspondants-observateurs en septembre et octobre 2003, pour le chêne pédonculé (carte de gauche) et le chêne sessile (carte de droite)
Les zones en blanc correspondent à des régions où l'essence concernée est peu présente et localement, à des données manquantes

conséquences pour les peuplements forestiers ;

■ un protocole standardisé a été défini pour mettre en place et suivre un réseau complémentaire de placettes de 20 arbres dans des peuplements concernés par la canicule et représentatifs d'essences et de conditions écologiques mal représentées dans les deux réseaux précédents.

Une très grande variabilité des symptômes selon les essences et les situations géographiques

Les données ci-dessous concernent surtout les peuplements adultes (quelques remarques relatives aux jeunes plantations sont données en encadré). Elles ne prétendent pas être exhaustives et ne permettent pas de quantifier l'importance des surfaces concernées ni les risques de dégâts futurs. Pour chaque essence, les principales confusions possibles avec des problèmes phytosanitaires qui ne dépendent pas directement des conditions climatiques sont indiquées.

De manière générale, les effets de la sécheresse et de la canicule sont plus marqués sur les arbres isolés, les arbres d'alignement, sur les lisières sud des peuplements, dans les couloirs fortement ventés et dans les zones à "effet four" local (parois rocheuses…).

Le comportement des **chênes pédonculé et sessile** est très variable selon les stations. Les symptômes sont de plus en plus intenses d'ouest en est et sont les plus marqués sur sols superficiels et sur sols à hydromorphie temporaire. Le chêne sessile se révèle autant, voire plus, concerné que le chêne pédonculé et il conviendra d'être attentif aux capacités de récupération de ces deux essences. Les brunissements très intenses correspondant à de fortes

Les jeunes plantations

Les très jeunes plantations, particulièrement celles de l'année, résistent difficilement aux aléas climatiques pendant toute la durée de leur crise de transplantation. Le dessèchement du plant est presque toujours irréversible et il est possible d'en estimer la gravité en vérifiant si le système racinaire est sec ou non. Les dommages éventuels ne pourront être véritablement estimés qu'à la reprise de végétation au printemps 2004.
Il sera nécessaire de faire un bilan exhaustif des jeunes plantations car il y a une grande variabilité intrarégionale, liée à la nature du milieu, de l'essence mais aussi, semble-t-il, à la qualité des plants, à la technique de plantation …
D'un point de vue réglementaire, les bénéficiaires de subvention à l'investissement forestier, accordées depuis le 1er janvier 2000, doivent informer le service instructeur lorsqu'ils sont dans l'impossibilité de remplir les engagements techniques souscrits. Cette obligation a été rappelée par la circulaire DGFAR/SDFB/C2003-5036 du 16 décembre 2003, pour les plantations susceptibles de ne pas respecter les engagements contractuels de densité ou de hauteur.
Pour répondre à ces contraintes, la Direction technique organise une large enquête à mettre en œuvre au printemps 2004.

attaques d'oïdium (Lorraine) n'ont pas été pris en compte dans cette enquête. Ces attaques font (le plus) souvent suite soit à des gels de printemps, soit à des défoliations par des chenilles (bombyx disparate ou processionnaire du chêne).

Les brunissements sont particulièrement intenses et étendus sur **chêne pubescent,** partout où on le trouve sur sols superficiels, en limite de plaine ou sur versant chaud. Des dessèchements généralisés sont observés sur les zones de causses et dans les fortes pentes. Des mortalités sont à craindre localement (arbres surannés ou tiges dominées), d'autant plus que l'état général des houppiers se détériore de façon continue depuis la sécheresse du début des années 1990.

G. Douzon, DSF

Châtaigniers en août 2003

La situation du **hêtre** est assez complexe. Les dessèchements et chutes de feuilles liés au stress hydrique sont très fréquents, sur sols superficiels principalement mais pas exclusivement. Les potentialités de récupération sont généralement bonnes. Mais il faut prendre soin de distinguer ce phénomène :

- des rougissements intenses de houppiers provoqués par un charançon phyllophage (l'orcheste du hêtre), fréquents par exemple dans les hêtraies d'altitude vosgienne ou cévenole, aux conséquences négligeables ;
- des jaunissements de fin d'été dans les peuplements qui subissent des tassements de sols dus aux exploitations, pour lesquels il existe un fort risque de mortalité.

Parmi les autres essences feuillues, le **merisier**, le **bouleau**, le **robinier** et le **frêne** ont perdu très précocement leurs feuilles. Le châtaignier et le charme ont rougi ou jauni de manière très irrégulière, mais localement très marquée. Des chutes foliaires massives ont été observées dans les taillis de châtaigniers les moins bien alimentés en eau. La grande variabilité de la situation des peupliers est liée aux clones et aux conditions d'alimentation en eau et devrait être riche d'enseignements pour les plantations futures.

FX Saintonge, DSF

Plantation de chênes pédonculés de 10 ans desséchée (août 2003)

Des rougissements « de l'intérieur » (correspondant aux aiguilles anciennes) ont été observés sur la plupart des **résineux**, et notamment les pins dont les houppiers seront très clairs lors de la chute de ces aiguilles.

Pour ce qui concerne l'**épicéa**, les rougissements de l'ensemble du houppier apparus depuis le début du mois d'août (Vosges, Jura, Haute-Savoie, sud du Massif central) sont, en presque totalité, les conséquences des attaques de la première

génération de typographe et de chalcographe, puis de la seconde génération, qui a volé de juillet à septembre. Les températures élevées de l'été 2003 ont favorisé le développement des insectes et ont même localement permis le développement d'une troisième génération (dans ce cas, les adultes de seconde génération essaiment au lieu d'aller hiverner dans la litière). Comme d'autre part les arbres affaiblis par la sécheresse et par la canicule sont moins aptes à résister aux attaques, les conditions sont réunies pour générer de très forts dégâts en 2004 et les années suivantes.

Il importe de mettre en œuvre au plus vite une lutte active contre les scolytes.

Les symptômes sur **sapin pectiné** sont particulièrement marqués dans le Jura et le Massif central. Ils correspondent selon les cas soit à des dégâts d'origine climatique (sur sols superficiels ou très acides), soit à des attaques de petits scolytes ou de pissodes.

Il y a peu d'observations sur **pin sylvestre, pin noir** et **pin laricio** et les seuls signalements de rougissements intenses (Ile-de-France, Montagne Noire) correspondent au développement de champignons pathogènes (*Sphaeropsis sapinea*), suite ou non à des dégâts de grêle, ou bien encore en Alsace à des attaques d'hylésine. Les mortalités consécutives à ces accidents phytosanitaires sont généralement faibles, mais pourraient être amplifiées par la canicule.

Des jaunissements de **mélèze** ont été signalés en lisière de peuplement ou sur stations difficiles, principalement dans le Massif central, en Bourgogne et, localement dans les Alpes du Sud. Hormis dans les cas de dessèchements importants de rameaux, le mélèze, en raison de son feuillage annuel, semble plus susceptible que les autres résineux de récupérer après une forte défeuillaison.

Dans de nombreuses régions, le **douglas** semble avoir particulièrement souffert des conditions climatiques de l'été 2003. Les symptômes de rougissement se rencontrent principalement dans les peuplements de moins de 30 ans, en lisières (surtout lisières sud), et de façon diffuse dans les peuplements en versant sud. Il n'est signalé que relativement peu de peuplements totalement rouges sur des surfaces significatives. Les chances de récupération des douglas actuellement rouges semblent très faibles, surtout quand il a pu être vérifié sur quelques arbres abattus que les branches sont sèches. Mais rien ne justifie de récolter en même temps, lors des coupes sanitaires, les tiges voisines encore vertes ou même jaunissantes.

Gérer les conséquences et en tirer des enseignements pour la gestion forestière

Avant toute décision d'intervention, il convient d'observer soigneusement les symptômes de dommages et de bien distinguer ceux liés à des pathologies et à des ravageurs qui ont pu se superposer aux problèmes physiologiques.

Des conséquences favorables possibles sur certains pathogènes et ravageurs

Les conditions climatiques très difficiles ont eu aussi des conséquences directes, souvent difficiles à estimer, sur certains ravageurs et pathogènes.

La sécheresse de l'air et les hautes températures ont fortement freiné le développement des rouilles sur peupliers.

Il a été noté localement de fortes mortalités de pontes et de jeunes colonies de processionnaire du pin. Des investigations détaillées seront nécessaires pour déterminer l'importance du phénomène et son influence sur la pullulation en augmentation ces dernières années.

Une récolte rapide des bois endommagés n'est véritablement nécessaire que dans les cas de bois scolytés, où il importe de sortir les bois de la forêt avant que la nouvelle génération d'insectes n'ait essaimé. Dans tous les autres cas, la récolte n'a qu'un objectif économique. Il faut donc, d'une part, éviter d'intervenir prématurément sur des peuplements capables de récupérer, et d'autre part, veiller à avoir un débouché commercial pour les grumes avant toute exploitation car les bois se dégradent toujours plus vite après abattage que sur pied.

Pour l'avenir, il faut noter que les symptômes apparaissent plus importants dans des conditions stationnelles ou sylvicoles difficiles. Il conviendra de bien analyser les dégâts subis et d'en tirer tous les enseignements possibles en termes d'autoécologie des essences, de conduite des peuplements et même de techniques de plantations.

Le GIP-ÉCOFOR coordonne une "Expertise collective" pluridisciplinaire des effets de la canicule et de la sécheresse sur les écosystèmes forestiers à laquelle est associé l'ONF ainsi que tous les organismes de gestion et de recherche forestière, tant fondamentale qu'appliquée.

Jean-Luc FLOT
chef du département de
la santé des forêts
SDFB/DGFAR
jean-luc.flot@agriculture.gouv.fr

Remerciements aux correspondants-observateurs et aux personnels du département de la santé des forêts : ce document est une synthèse de leurs observations et de leurs analyses du second semestre de l'année 2003.

Cloisonnements d'exploitation dans le cadre d'une gestion durable des forêts.

Le cas de la FD de la Trappe (Orne)

La forêt de la Trappe est située en majeure partie sur un plateau aux pentes faibles (voisines de 1 %). Les peuplements sont constitués d'un mélange de chêne rouvre et pin sylvestre traités en futaie régulière. La montée en puissance, et, par voie de conséquence en poids, des engins de débardage constitue une menace pour le maintien d'une productivité à long terme de certains types de sols, en particulier les sols limoneux dont la portance est faible pendant la période de l'année où le plan d'eau affleure à la surface.

Objectifs

Maintenir la fertilité à long terme de l'écosystème en protégeant les sols du tassement par les engins de débardage. Mettre en œuvre une gestion durable des forêts dans le cadre de P.E.F.C.

Acteurs

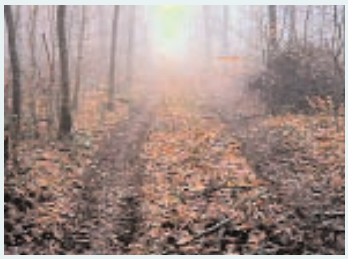
ONF : responsable commercial, aménagiste, agent responsable coupe.
Autres : exploitant forestier, bûcheron, débardeur

État initial

Les sols du plateau sont des luvisols-rédoxisols caractérisés par des horizons E et Bt, une hydromorphie de surface, un engorgement hivernal prolongé avec un plan d'eau affleurant la surface

Actions programmées

- Mise en place systématique de cloisonnements d'exploitation dans l'ensemble des parcelles du plateau depuis 1992
- Cloisonnement à 20 m d'axe en axe
- Largeur minimale de 4 m
- Réseau de cloisonnements parallèles débouchant sur une transversale située à 25 m de la route.
- Confection de quelques places de dépôts aménagées pour faciliter le chargement et de petites places non aménagées sur chaque chantier



C. Thiébaut, ONF

Cloisonnement après exploitation

Actions réalisées

- Organisation d'une réunion d'information avec les exploitants, les débardeurs et les bûcherons
- Indication en clauses particulières de l'obligation d'utiliser les cloisonnements lors du débardage
- Fournitures du plan de la coupe aux bûcherons et débardeurs
- Dialogue continu et demande d'avis ou de suggestions aux intervenants sur les chantiers
- Suivi facilité des coupes avec cloisonnements

Cloisonnement dans un mélange chêne-pin

C. Thiébaut, ONF

Problèmes identifiés

- Manque d'intérêt d'une partie des acheteurs et des débardeurs.
- Difficultés à faire évoluer les pratiques d'une partie des sous-traitants mal formés et mal rémunérés.
- En cas de difficulté, nécessité d'un fort encadrement des intervenants

Projets à venir

- Confection de cartes de sensibilité des sols au tassement.
- Implication plus grande des agents responsables de coupe, sur cette problématique.
- Formation des agents responsables de coupe aux problèmes de tassement

Évaluation des actions

Implantation systématique de cloisonnements à l'échelle d'un triage à une époque (1992 à 1998) où la prise de conscience n'était pas aussi forte qu'actuellement ; nécessité de dialoguer, convaincre et, si besoin, imposer. Les équipes structurées (minoritaires) sont rapidement convaincues (lisibilité du chantier et meilleure organisation), la gestion se fait correctement à l'échelle d'un triage mais la protection des sols doit être gérée et organisée à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement, en diversifiant les moyens de protection (cloisonnements, câble, pneus basse pression…) afin de maintenir un approvisionnement régulier des outils de transformation dans de bonnes conditions d'exploitation et sans pression excessive de la part des acheteurs.

Christian THIÉBAUT
ONF, UT du Perche
agence d'Alençon
christian.thiebaut@onf.fr

Cloisonnements d'exploitation dans des peuplements sinistrés par les tempêtes de 1999.

L'exemple de la forêt de Haye (Meurthe-et-Moselle)

Les hêtraies ont été particulièrement touchées avec 20 millions de m^3 de bois renversés. Dans un contexte de pénurie d'engins de débardage et d'urgence d'exploitation des bois de bonne qualité, une nouvelle technique d'exploitation a été mise en œuvre sur les plateaux calcaires de Lorraine.

Au total, elle a concerné plus de 1000 ha de futaies régulières de hêtre en amélioration, totalement renversées, où la forte densité des tiges à terre compliquait et rendait très dangereuse l'exploitation classique avec débardeur. Les volumes des peuplements étaient de l'ordre de 300 à 400 m^3/ha, pour une densité de 200 à 250 tiges/ha. Les surfaces renversées d'un seul tenant constituaient des blocs de plusieurs dizaines d'hectares, jusqu'à plus de 200 ha à proximité de Nancy.

STIR NE

Exploitation conduite sans cloisonnement : tassement et orniérage généralisés. Destruction des semis naturels préexistants

STIR NE

Ouverture d'un cloisonnement d'exploitation à la pelle hydraulique

Principe

Cette technique repose sur l'ouverture, avant ou de façon combinée à l'exploitation, de cloisonnements d'environ 5 m de largeur, installés dans la direction des arbres couchés, avec un entre-axe de 24 m. Ils sont ouverts à l'aide d'une pelle hydraulique (20-24 T) sur chenille, munie d'une lame de dessouchage qui permet alternativement de traiter les souches sur le cloisonnement et de déplacer les grumes. Un bûcheron assiste en permanence le travail de la pelle. Elle est à l'arrêt quand le bûcheron intervient. Il se retire derrière lorsque la pelle avance ou est en action. L'implantation de jalons sur la partie dégagée permet au conducteur de l'engin de garder la direction voulue.

Intérêts

■ Avant tout, les cloisonnements sécurisent les chantiers d'exploitation, en facilitant les déplacements des personnes dans les parcelles et les accès aux services de secours en cas d'accident. Les cloisonnements assurent une zone de travail dégagée donc plus sûre pour les bûcherons.

■ Ensuite, cette opération permet d'optimiser les chantiers. En effet, les cloisonnements favorisent un déplacement facile et rapide des tracteurs sur la coupe, améliorant d'autant leur disponibilité pour les bûcherons. Les interventions ultérieures d'évacuation du bois d'industrie et de traitements éventuels des rémanents sont facilitées à partir de ce réseau de cloisonnements ouverts.

■ Les cloisonnements avant exploitation permettent également de préserver le sol et de protéger les semis présents. Leur installation préalable fait que la circulation des engins de débardage se concentre sur ces axes, les bois inaccessibles étant câblés. Ainsi, on peut considérer qu'ils ont permis de préserver environ deux tiers de la surface de la coupe, limitant d'autant les coûts ultérieurs de remise en état du sol qui ne permettent de toutes façons pas de revenir à l'état initial.

L'installation de cloisonnements associée à l'utilisation du câble par les débardeurs, représente certainement la technique préventive la plus efficace des dégâts d'exploitation aux sols et aux semis.

STIR NE

Exploitation conduite avec cloisonnement : les engins restent strictement cantonnés dessus sans circuler dans la parcelle

■ Ces cloisonnements constituent aussi un moyen d'amorcer la reconstitution des forêts dans la mesure où ils forment des voies de pénétration pour le forestier. Le suivi du recrû ligneux s'en trouve grandement facilité, ainsi que la réalisation de tous les travaux sylvicoles jugés nécessaires (maîtrise de la végétation concurrente, dégagement, plantation d'enrichissement de part et d'autre des axes).

■ Enfin, cette technique présente des intérêts annexes. Les parcelles redevenant praticables, il s'avère possible de maintenir des actions de chasse, ainsi que de gérer les risques d'incendie, avec une meilleure maîtrise des départs de feux éventuels.

Quant au coût de l'opération, il a été chiffré à environ 650 € par hectare (plus ou moins 20 % selon les caractéristiques des chantiers), ce qui nous semble modeste en regard de tous les gains constatés : un travail dans des conditions de plus grande sécurité, une amélioration de la qualité et du rendement des chantiers (bûcherons, débardeurs,…), une commercialisation facilitée des parcelles car les volumes de bois sont beaucoup plus accessibles et plus facilement estimables par les acheteurs, enfin les sols et les semis se trouvent protégés, ce qui constitue le gage d'une reconstitution privilégiant la régénération naturelle.

STIR NE

Parcelle après vidange des bois conduite à partir des cloisonnements d'exploitation

Thierry BARATEAU
Philippe MESNIER
Isabelle VINKLER
Claudine RICHTER
ONF, ex- STIR Nord-Est, Nancy

Cloisonnements d'exploitation dans des peuplements sinistrés par les tempêtes de 1999.

Suivi de parcelles en FD de Selles et Passavant (Hte-Saône)

Parcelle 33

État initial

Surface 9,07 ha – Peuplements mélangés hêtres (dominants) et chênes au sade de la préparation – Volume/ha 500 m³ – détruite à 80 %

Exploitation

Exploitation des bois sans réseau de vidange pré-établi. Utilisation des différentes trouées pour l'évolution des engins forestiers.

Travaux de remise en état

■ Dégagement au niveau du cloisonnement et remise en place des souches à la pelleteuse de part et d'autre du cloisonnement. Tassement soigné autour des souches pour éviter les poches d'eau, déplacement des roches. Pelleteuse à chenilles avec godet de terrassement.
■ Ouverture définitive des cloisonnements d'exploitation au broyeur (3 m de large).

État actuel

■ Tassements de sol
■ Remontée du plan d'eau
■ Apparition de joncs
■ Semis en moins grand nombre – Sont-ils acquis ? Difficultés à travailler et sauver. Quelle évolution ?
■ Travaux de plantation à envisager ?

Parcelle 35

État initial

Surface 5,60 ha - Peuplements mélangés hêtres (dominants) et chênes au sade de la préparation – Volume/ha 550 m³ – détruite à 90 %

Exploitation

Installation d'un réseau de cloisonnements matérialisés à la peinture jalonnés tous les 25 m d'axe en axe, perpendiculairement à la route forestière longeant la parcelle, sur lequel les tracteurs forestiers ont circulé en poussant à la lame les obstacles (souches, houppiers, gros rémanents).

Évacuation de toutes les grumes puis façonnage des houppiers par des cessionnaires.

Travaux de remise en état

État actuel

■ Accès à la parcelle sécurisé
■ Semis naturels de hêtres et chênes présents et acquis, actuellement travaillés (élimination des pré-existants et des loups) – maintien du mélange (intervention au profit des chênes) et maintien de la biodiversité (sorbiers, merisiers)
■ Tassement des sols limité aux cloisonnements d'exploitation, pas ou peu de remontée du plan d'eau
■ Pas de travaux de plantation à envisager
■ Le réseau de cloisonnements culturaux mis en place permet l'utilisation du logiciel REGENAT, pour affiner l'observation de la parcelle

Le réseau de cloisonnement facilite l'utilisation du logiciel REGENAT pour un suivi quantitatif et qualitatif de la régénération naturelle. La mise en place de cloisonnements d'exploitation permet d'éviter que la surface totale des parcelles soit tassée, empêchant ainsi la création d'hydromorphie, préjudiciable à l'installation et au développement des semis naturels.

Patrick NICOLAS
0NF, UT de Vauvillers
agence de Vesoul

à suivre
n° 4 - printemps 2004

Prochain dossier : incendies de forêts
parution : mai 2004

L'année 2003 reste marquée par l'exceptionnelle ampleur des incendies de forêt. Ce nouveau dossier donnera un éclairage sur l'état des recherches menées en matière d'évaluation des risques, et sur les modalités de prévention.

Retrouvez *RenDez-Vous techniques* sur intraforêt

Tous les textes de ce numéro sont accessibles au format PDF dans la rubrique qui lui est désormais consacrée dans le portail de la direction technique (Recherche et développement/Documentation technique). Accès direct à partir du sommaire.

Pour rechercher un article particulier, utilisez le moteur de recherche de la base documentaire →

Si vous désirez nous soumettre des articles, prenez contact avec nous :

ONF - Département recherche et développement
Tél. 02 38 65 02 86
Mail : dominique.de-villebonne@onf.fr

Pour se procurer RDV techniques :

ONF - Documentation technique
Boulevard de Constance
77300 Fontainebleau
Tél. 01 60 74 92 24 - Fax 01 64 22 49 73

Office National des Forêts

ISSN : 1763-6442
Prix : 10 €