

**EXPERTISE COLLECTIVE SUR LES TEMPÊTES, LA
SENSIBILITÉ DES FORÊTS, ET SUR LEUR
RECONSTITUTION**

Animé par :

Yves BIROT (INRA), Daniel TERRASSON (*Cemagref*), Thomas FORMERY (IDF),
Bernard ROMAN-AMAT (ONF)

Coordonné par :

Olivier LAROUSSINIE (GIP ECOFOR), Sébastien DROUINEAU (GIP ECOFOR)



29 Juin 2000

INTRODUCTION

Les tempêtes de la fin 1999 ont frappé profondément et assez durablement le secteur forestier et certaines de ses composantes : les écosystèmes eux-mêmes, les propriétaires et gestionnaires, certains acteurs de l'exploitation forestière et de l'industrie. Face à cette catastrophe sans précédent dans l'histoire de la forêt française, l'**INRA** et le **Cemagref** ont souhaité apporter leur contribution, pour éclairer les décisions publiques, et notamment les mesures incitatives, visant non seulement à reconstituer les forêts endommagées ou détruites, mais encore à conférer par la sylviculture une meilleure stabilité aux forêts non touchées ou en devenir.

L'INRA et le *Cemagref* ont pris l'initiative, en concertation avec la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt (DERF) du ministère de l'agriculture et de la pêche, de mettre sur pied un **groupe d'expertise scientifique** avec un triple objectif : (i) **produire en quatre mois une expertise collective sur l'aléa tempête et la sensibilité de la forêt, et proposer des orientations pour la reconstitution des forêts endommagées** - ce sera l'objet du présent document ; (ii) affiner, dans un deuxième temps, les conclusions de ce rapport après interprétation des premières évaluations des dégâts par l'Inventaire Forestier National sur quelques zones tests ; (iii) encadrer des projets de recherche à court terme, et élaborer sur le moyen terme de nouveaux programmes de recherche.

L'originalité de ce travail a été la construction d'une **expertise véritablement collective** associant scientifiques et praticiens. Les délais courts fixés à la production de ce rapport ont permis de mobiliser l'« existant », c'est-à-dire les connaissances propres de chacun (le « dire d'expert ») ainsi que d'abondantes données bibliographiques françaises et étrangères. Le groupe d'expertise a réuni une large palette de scientifiques issus de disciplines variées et appartenant à des organismes très divers (Muséum, CNRS, ENGREF, Universités françaises, suisses et allemandes, Météo France, *Cemagref* et INRA) et de spécialistes du développement ou de gestionnaires forestiers (IDF, IFN, ONF, propriétaires privés, experts forestiers). Ce groupe d'expertise composé d'une trentaine de personnes s'est appuyé sur un « deuxième cercle » d'une cinquantaine d'experts choisis en fonction de leurs compétences. Le Groupement d'intérêt public de recherche sur les écosystèmes forestiers, **GIP ECOFOR**, a apporté une contribution majeure au groupe d'expertise en assurant son secrétariat technique et en réalisant la synthèse de ses travaux.

Le rapport d'expertise est structuré en deux parties. La première traite de l'aléa climatique tempête et des facteurs qui influent sur la sensibilité des arbres et des forêts au vent. De cet état des connaissances, on peut tirer bien sûr des enseignements pour la reconstitution et pour une meilleure prise en compte du risque lié au vent dans la gestion des forêts non ou moins touchées. La deuxième partie présente des recommandations sur le pourquoi et le comment de la reconstitution.

Nous espérons que cette expertise scientifique collective, qui se situe bien dans les missions des organismes publics de recherche, contribue au fondement des décisions publiques qui vont intervenir très prochainement pour aider à la reconstitution de la forêt française. Nous souhaitons ici remercier tous ceux qui y ont participé, en soulignant que ce rapport doit beaucoup à la compétence des experts, à leur capacité d'écoute et de dialogue, et à leur engagement pour que ce travail soit utile à la collectivité.

Le président de l'INRA

Bertrand HERVIEU

**Le président du Conseil
d'Administration du Cemagref**

Jean-François CARREZ

Partie 1 : L'aléa climatique tempête et les facteurs de sensibilité ou de résistance des forêts

Vent, climat et forêt française

Les tempêtes de fin 1999 : exceptionnelles en intensité et en étendue

Les deux événements de décembre 1999 ont eu une intensité et une étendue très rares. Les zones touchées par des vents exceptionnels ont représenté une part importante du territoire national. Ainsi, à l'intérieur d'un périmètre Strasbourg - Colmar - Mulhouse - Orléans - Rouen - Reims - Nancy - Strasbourg, au pied des Pyrénées et le long de la côte Atlantique, depuis Biscarosse jusqu'à la Vendée, la vitesse de vent moyen observé lors des deux tempêtes correspond à une durée de retour du phénomène supérieure au siècle. S'ajoutait à cela une forte pluviométrie au cours du mois de décembre 1999 qui, à l'exception du quart Sud-est du pays, avait conduit à une saturation en eau des sols.

Les quinze dernières années n'ont pas été avares en « coups de vent » qui ont marqué les esprits, cependant, si une augmentation de la fréquence des tempêtes a pu être constatée pour les 30 dernières années par rapport aux décennies précédentes, il n'est pas possible d'observer une tendance au niveau du siècle : l'activité tempétueuse est simplement revenue à un niveau similaire à celui de la fin du XIX^{ème} siècle. Cette forte variabilité interdécennale et la limitation des séries statistiques ne permettent pas de conclure à une augmentation du phénomène et encore moins de la relier à une transformation du climat.

L'augmentation de la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère fait prévoir un réchauffement du climat. En l'absence de résultats tranchés issus de l'observation, c'est naturellement vers la simulation que l'on se tourne pour essayer d'en évaluer les conséquences sur la violence et la fréquence des tempêtes, mais on se heurte alors à la mauvaise restitution des phénomènes extrêmes par les modèles numériques. On les aborde de façon indirecte par l'étude de critères statistiquement reliés à l'apparition de phénomènes extrêmes, mais les résultats obtenus par plusieurs équipes de recherche sont contradictoires. On peut néanmoins en retenir que l'augmentation de phénomènes extrêmes n'est pas invraisemblable dans l'hypothèse d'un réchauffement global plus marqué que maintenant.

La forêt française : plus vaste et plus sensible

Si les caractéristiques de l'aléa vent ne semblent pas s'être profondément modifiées au cours du siècle, l'augmentation incontestable des dégâts forestiers est à relier de façon plus certaine à l'évolution de la forêt française. Cette évolution, depuis le milieu du XIXe siècle, a deux dimensions principales, d'une part l'accroissement des surfaces forestières et d'autre part l'évolution des modes de gestion vers les régimes de futaie au détriment des taillis et taillis sous futaie. La première, qui revient à exposer plus de surface forestière au vent, est un facteur direct d'augmentation des dégâts. L'évolution des modes de gestion, de son côté, a conduit à un changement dans la structure et la composition des peuplements, à la fois dans le sens d'un accroissement de l'enjeu - volume sur pied à l'hectare plus élevé et plus forte valeur des bois - et d'une augmentation de la sensibilité - principalement une hauteur dominante accrue -. La comparaison des 2 derniers cycles complets de l'Inventaire Forestier National de dates moyennes 1980 et 1992 et des données du cycle en cours pour certains départements confirment que ces tendances sont toujours à l'œuvre et permettent de les détailler un peu mieux :

- La surface forestière est en extension : 80 000 ha de plus par an pour la période 1991-1998 (source TERUTI).
- Le volume moyen sur pied est en augmentation : 129 m³/ha en 1980 à 149 m³/ha en 1992.
- Les taillis et les mélanges futaies feuillues-taillis régressent (respectivement - 310 000 ha et -220 000 ha sur la période 80-92) alors que les futaies progressent (+800 000 ha sur la période 80-92).
- La surface occupée par les peuplements de hauteur dominante élevée augmente.
- Dans le cas particulier des peuplements résineux et en utilisant les classes de stabilité définies par l'IDF (cf. ci-dessous), le douglas, le sapin pectiné et l'épicéa accusent une

nette augmentation de la proportion des peuplements dans les catégories « fragilisé » et « instables ».

L'influence sur ces chiffres des plantations résineuses installées avec l'aide du Fonds Forestier National et l'évolution des taillis-sous-futaie en futaie (par conversion ou vieillissement) est nette. La sylviculture peut être clairement mise en cause dans le cas des peuplements résineux mentionnés. Néanmoins la situation ne peut être entièrement maîtrisée ni expliquée par la gestion pratiquée (y compris l'absence d'intervention), qui n'est pas indépendante des objectifs généraux fixés à la forêt et de l'évolution du paysage rural et du marché du bois (par exemple l'absence de débouchés pour les petits-bois résineux). Enfin, il faut ajouter l'augmentation de la productivité des forêts que l'on observe sur les dernières décennies (elle proviendrait en partie de l'élévation du taux de CO₂ atmosphérique, de la pollution atmosphérique azotée et du réchauffement du climat), qui est liée à un accroissement de la hauteur dominante des peuplements.

Le vent : les zones exposées

La façade Atlantique, à l'ouest d'une ligne Bordeaux – Rouen, le sillon rhodanien et le Languedoc-Roussillon, ainsi que l'est de la Corse, sont les régions les plus exposées (durée de retour inférieure à cinq ans pour une vitesse de vent maximal de 120 km/h). L'évaluation de l'aléa est plus complexe aux facteurs d'échelles inférieures : localement, la combinaison de la topographie et de la direction du vent a un rôle décisif. Enfin, à une échelle encore inférieure, c'est le peuplement lui-même qui influence la nature du vent, et notamment son profil, sa vitesse et son caractère turbulent (cf. ci-dessous).

Stabilité des arbres et des peuplements

Le développement ci-dessous présente de manière dissociée les différents facteurs pouvant influencer sur la stabilité des arbres et des peuplements. Cette approche a l'avantage d'une plus grande simplicité et d'une meilleure clarté, et s'avère souvent suffisante pour mettre en relation une instabilité constatée avec une, voire deux causes évidentes (ex : chablis concentrés sur des chênes dont le système racinaire est fortement attaqué par la collybie). Elle ne permet pas en revanche d'appréhender les éventuelles compensations (par exemple, une mauvaise stabilité individuelle des arbres peut être compensée dans une certaine mesure par l'« effet bloc » au niveau du peuplement), ou les synergies entre les différents facteurs. Plus encore, elle ne fait pas ressortir les interactions entre ces facteurs. Par exemple, le comportement très variable des essences, d'une station et d'une sylviculture à l'autre complique l'analyse de la sensibilité des espèces. Ainsi, le douglas, dans des conditions de sol favorable, présente une assez bonne qualité d'ancrage du fait de son système racinaire « en cœur ». En revanche, très sensible à l'humidité du sol, il adopte un comportement traçant dans des sols même faiblement hydromorphes et devient alors un excellent candidat aux chablis. Pour ces raisons, l'analyse de la stabilité des peuplements réclame une expertise capable de regrouper des facteurs en quelques « variables synthétiques » pertinentes, essentiellement dendrométrie des peuplements, propriétés mécaniques des arbres, et qualité de l'ancrage au sol (ce dernier paramètre intégrant tout à la fois les caractéristiques stationnelles, sanitaires et spécifiques) pour aboutir à un diagnostic global de la stabilité.

L'arbre

Le vent entraîne une oscillation des arbres suivant un modèle mécanique simple. Les rafales présentant elles-mêmes un caractère pulsatoire (courtes rafales de quelques secondes), des phénomènes de résonance sont possibles. Chaque compartiment de l'arbre : houppier, tige et complexe sol + racine, joue un rôle sur la réponse de l'arbre à la sollicitation du vent et contribue à ses propriétés de résistance.

C'est essentiellement sur le houppier que s'exerce l'action du vent. Un houppier large présente une prise au vent importante, surtout lorsque l'arbre est en feuilles, mais *contrario*, la présence des branches basses abaisse les centres de gravité et de pression, les rapprochant du point d'ancrage (le sol) et réduisant de ce fait le couple des forces en jeu (vent et poids dès que l'arbre n'est plus parfaitement vertical). De plus, le battement des

branches contribue de façon importante à l'amortissement de l'oscillation (cette contribution a été évaluée à 40 % dans le cas d'un peuplement d'épicéas de Sitka).

La tige transmet l'effort jusqu'au sol et n'est que très peu responsable de l'amortissement des oscillations. Sa structure complexe lui confère des propriétés particulières de résistance, mais cet organe présente des hétérogénéités et casse de façon privilégiée au niveau de défauts structuraux. L'arbre développe naturellement de telles zones de fragilité au cours de sa croissance (nœuds, cernes larges pour certaines espèces), mais celles-ci peuvent aussi résulter d'un agent extérieur, notamment un pathogène ou un insecte. Les attaques de *Fusarium* sur les peupliers, de la pyrale sur pin maritime, les chancres à *Nectria* sur hêtre, à *Cryphonectria* sur châtaignier, sont ainsi des points privilégiés de rupture.

La forme générale de la partie aérienne influence la fragilité. A hauteur égale, la stabilité individuelle des arbres est renforcée par un faible élancement (rapport h/d_{130}) et, à élancement équivalent, la hauteur augmente l'instabilité. En résumé, les arbres petits et trapus présentent les formes les plus favorables. Il a été montré par ailleurs de manière théorique que la multiplication des répétitions pouvait jouer un rôle, du fait de possibles phénomènes de résonance entre l'arbre et des branches principales, multipliant les risques de dégât, et notamment de rupture au niveau des fourches.

Le système racinaire fixe une importante quantité de terre, essentiellement du fait des racines fines. Le poids de ce complexe sol / racines atteint 6 à 8 fois celui des parties aériennes de l'arbre, et est responsable en premier lieu de l'ancrage au sol. La qualité d'ancrage est donc indissociable des caractéristiques du sol, et s'avère d'autant meilleure que le volume prospecté est important et que le matériau est cohérent (tout en restant prospectable). L'architecture racinaire joue à deux niveaux. Tout d'abord, la qualité de l'ancrage fait intervenir le type de système racinaire développé par l'espèce dans la mesure où celui-ci peut croître de façon non contrainte. Le système racinaire « en cœur » est reconnu comme le plus performant, suivi du système racinaire pivotant et enfin du système racinaire traçant. Par ailleurs, pour une direction de vent donnée, ce sont les racines situées dans l'axe du vent qui sont sollicitées, en tension et en compression, et un système racinaire symétrique ne présente de ce point de vue pas de faiblesses.

Enfin, on a montré pour certains couples pourridié racinaire / essence une relation forte entre niveau d'infection et sensibilité au vent (sur chêne et douglas notamment). Les données manquent, mais il est probable qu'une telle influence intéresse de nombreux autres couples que ceux déjà étudiés.

Dans la réaction de l'arbre à la sollicitation du vent, le battement des racines agit comme un amortisseur. Là encore, les caractéristiques du sol jouent un rôle, et en particulier son état au moment de la sollicitation. L'énergie de battement peut dans certains cas, sur sols argileux et détrempés, entraîner un passage à l'état plastique voire liquide. Dans le cas des tempêtes de fin 1999, la saturation en eau quasi-généralisée des sols a largement facilité les déracinements. A l'inverse, un sol sec assure un meilleur maintien, mais perd alors une partie de ses propriétés d'amortisseur : les volis sont alors favorisés par rapport aux autres types de dégâts.

Les dimensions relatives des différents compartiments de l'arbre ont un rôle évident sur la stabilité. Un appareil aérien surdimensionné par rapport au système racinaire est un facteur majeur de déséquilibre (cas des hêtres sur plateau calcaire à sols superficiels, influence de la fertilisation azotée).

Pour terminer, l'arbre est une structure dynamique qui met en jeu des mécanismes biologiques en réaction aux sollicitations, dont le plus étudié est la mise en place de bois de réaction dont on sait qu'ils permettent à l'arbre de conserver sa verticalité. Le rôle de tels mécanismes dans la résistance au vent est moins connu. On constate néanmoins :

- une meilleure résistance des lisières observée dans de très nombreux cas y compris pour des peuplements perméables au vent comme les peupleraies : bien souvent, seules les lisières restent debout ;
- un effet souvent très dévastateur des tempêtes soufflant dans une direction inhabituelle.

Ces constatations suggèrent que l'« éducation » des arbres au vent, fréquemment évoquée, pourrait elle aussi mettre en jeu des mécanismes biologiques d'adaptation. Certains de ces mécanismes commencent à être identifiés, notamment au niveau racinaire, comme des dissymétries dans la mise en place de tissus racinaires (apparition de bois de compression côté sous le vent exclusivement assurant une meilleure résistance à la compression sur pin maritime), où une croissance adaptative des racines (p.e. croissance plus rapide de la face supérieure des racines sous le vent s'opposant à la compression due au vent sur épicéa de Sitka).

Le type de station

Un paramètre clef de la stabilité des arbres et, par extension, des peuplements, est la profondeur physiquement prospectable par les racines. Lorsque la partie aérienne des arbres se développe normalement, un blocage des racines à une faible profondeur conduit irrémédiablement à un déséquilibre entre parties aériennes et parties souterraines. L'origine de telles barrières peut être stationnelle, comme dans le cas des stations à sol superficiel. Les plateaux calcaires de Lorraine et les stations à sol superficiels sur grès dans les Vosges sont deux exemples malheureusement fort « pédagogiques » de situations sensibles durement affectées par les tempêtes de fin 1999. La présence d'horizons indurés (alios dans les Landes), ou de nappes d'eau permanentes à proximité de la surface (pélosols pseudogley) présentent les mêmes contraintes de limitation du volume prospectable par les racines et renforcent pour les mêmes raisons l'instabilité des peuplements. Une autre origine possible de barrières de blocage peut être la mécanisation des travaux sylvicoles : l'apparition de tassements, sur sols limoneux ou limono-argileux, est un phénomène courant en cas de travaux forestiers mal menés.

Le rôle de la cohérence des sols sur la qualité de l'ancrage a déjà été évoqué. Les sols très pierreux ou sableux sont des cas particuliers de substrats peu cohérents et mauvais en terme de stabilité des peuplements de façon permanente. Dans la plupart des cas, la cohérence du sol dépend de son état hydrique et diminue avec l'augmentation de son taux d'humidité, ce qui explique l'instabilité sur les sols saturés en eau.

La richesse chimique peut avoir une influence. En particulier, une forte disponibilité en azote, d'origine naturelle ou issue de fertilisation, favorise la partie aérienne (en particulier la masse foliaire) au détriment du système racinaire, ce qui génère un déséquilibre. De surcroît, l'élément N, mobile, est présent à proximité de la surface, par où s'effectuent les apports, alors qu'il ne fait que percoler par les horizons inférieurs. Le développement des racines fines se trouve orienté vers les horizons superficiels, ce qui affaiblit leur contribution à l'ancrage de l'arbre.

Le peuplement

La position du peuplement d'un point de vue topographique l'expose plus ou moins aux effets du vent, du fait du relief local et du fait de la direction privilégiée des tempêtes (en grande majorité de secteur Ouest en France, à l'exception du littoral méditerranéen). Il en résulte une certaine éducation des arbres et un « écrémage » des situations les plus sensibles à ces sollicitations majoritaires. Par contrecoup, des tempêtes soufflant dans une direction inhabituelle ont souvent des effets étonnamment dévastateurs (cas de la tempête de 1982 en Auvergne).

Les caractéristiques aérodynamiques du peuplement ont une grande importance. Les lisières opaques provoquent des surpressions sur le front du peuplement qui génèrent des turbulences à l'arrière. Cet effet de masque peut être corrigé par un étagement progressif de la lisière jouant le rôle de déflecteur, et par une plus grande perméabilité obtenue tout du moins en hiver par la présence de feuillus en mélange (rôle du huppier défeuillé des feuillus). Les Anglo-saxons privilégient la première méthode (toutefois consommatrice de surface), jugeant que l'effet bénéfique dans le cas de lisières perméables est atténué par la pénétration du vent, même freiné, dans le peuplement. Il paraît néanmoins possible d'associer ces deux modes de gestion des lisières. Les ruptures dans la continuité des peuplements génèrent elles aussi des phénomènes turbulents à l'origine de dégâts importants. Il est important de noter, dès lors que de telles ruptures de continuité

apparaissent alors que le peuplement est déjà en place, que les lisières correspondantes, souvent qualifiées de fausses lisières, sont constituées d'arbres brutalement exposés sans avoir été « éduqués » au vent et sont donc très vulnérables.

L'effet conjugué de la hauteur et de l'élancement des peuplements a été largement étudié pour plusieurs essences résineuses et il est correctement résumé par les graphiques hauteur dominante - diamètre moyen faisant apparaître les zones de stabilité des peuplements. On relève :

- qu'une hauteur dominante croissante augmente l'instabilité des peuplements à élancement égal, et qu'elle finit par générer une instabilité forte quel que soit l'élancement. *A contrario*, les peuplements de faible hauteur dominante sont toujours très stables ;
- que les élancements réduits assurent une plus grande stabilité des peuplements à hauteur dominante égale.

Les propriétés de stabilité des peuplements ne résultent pas seulement de la somme des stabilités individuelles des arbres qui les composent, mais font également intervenir, à des degrés divers en fonction notamment de la structure du peuplement, un « effet bloc », dont l'effet positif sur la stabilité est conforté par l'expérimentation. L'effet bloc met en jeu le soutien mutuel des arbres d'une même strate par contact des houppiers, et qui dépend donc de la densité des peuplements. L'existence d'un sous-étage semble être un facteur favorable à la stabilité, mais cette observation mériterait d'être confirmée.

Il est difficile de conclure à l'effet de la structure du couvert sur la stabilité des peuplements. Régulier, il présente une plus faible résistance au vent et les arbres bénéficient de l'effet bloc, mais en général, au niveau individuel les arbres sont plus élancés donc moins stables. Irrégulier il présente une rugosité plus forte au vent, mais les arbres sont en général moins élancés et ainsi plus stables individuellement.

Aspects sylvicoles

La stabilité des peuplements résulte également de l'action humaine, et notamment de leur gestion mais aussi de leur installation. Le travail du sol a vocation en général, d'une manière ou d'une autre, à améliorer la prospection racinaire dans un sol présentant une contrainte à l'enracinement, soit en améliorant sa structure et sa pénétrabilité, soit en modifiant son humidité. Si les répercussions sont dans un premier temps discutables du point de vue de la stabilité (meilleur système racinaire, mais gain de croissance en hauteur des arbres), les effets positifs semblent plus clairs par la suite : les gains en hauteur se gommant, mais l'architecture favorable du système racinaire est acquise. Les élancements des arbres sont meilleurs, ce qui permet d'améliorer leur stabilité individuelle et d'anticiper la récolte (et donc de « devancer » les fortes instabilités des peuplements). Les travaux du sol peuvent donc améliorer la stabilité sous certaines modalités d'exécution et sous réserve que les sols en question présentent de réels obstacles à la pénétration des racines, en partie levés par le travail du sol. Les effets positifs précédemment évoqués ne sont en effet avérés que dans les sols où la prospection racinaire est d'une manière ou d'une autre limitée, (sols à horizon indurés, gleys à nappe superficielle et sols tourbeux)... Le drainage, en particulier, est efficace sur sol mouilleux. Il faut en revanche éviter les travaux provoquant des asymétries du système racinaires (type billons, labour en lignes), dont les conséquences en terme d'instabilité sont avérées pour plusieurs types de travaux et plusieurs essences (pin contorta, pin sylvestre, épicéa de Sitka).

En cas de plantation, les conditions dans lesquelles cette opération s'effectue et la qualité des plants utilisés ont un effet direct sur la qualité du futur système racinaire. Le système racinaire initial des plants est fortement influencé par les conditions de culture. En particulier, les exemples sont nombreux de peuplements instables issus de plants élevés dans des conteneurs inadaptés (pin maritime notamment). Notons néanmoins que certaines essences, notamment l'épicéa et le douglas, mais pas les pins, sont capables de développer un système racinaire adventice pouvant palier à un système racinaire initial déficient. L'influence des déformations racinaires sur la stabilité des arbres résulte soit de la perturbation du développement du système racinaire ou des flux de sève, soit d'un

affaiblissement mécanique. Elles n'ont en revanche généralement pas de conséquences visibles au niveau des parties aériennes.

Les éclaircies sont un point crucial en matière de sylviculture par rapport à la stabilité des peuplements. Elles ont deux effets antagonistes sur la stabilité des peuplements. La conséquence immédiate est une déstabilisation liée à l'ouverture brutale du peuplement qui casse l'« effet bloc ». Cette instabilité est temporaire et se prolonge jusqu'à cicatrisation du couvert (3-5 ans). Elle est d'autant plus marquée que les peuplements sont hauts. L'effet différé des éclaircies est, au contraire, d'augmenter le diamètre des arbres et donc le coefficient d'élanement qui leur procure une plus grande stabilité, du moins lorsque les interventions sont réalisées suffisamment tôt. Dans le cas des peuplements résineux équienneux, des zones de stabilité ont pu être définies par le biais d'un graphique hauteur dominante – diamètre moyen et sont très utiles pour adapter le régime d'éclaircies à la situation du peuplement. Globalement, pour avoir des peuplements plus stables, il faudra choisir entre la stratégie « effet bloc » avec un minimum d'intervention, une récolte précoce et des produits de faible dimension (sylviculture « Atlantique » des Britanniques), ou la stratégie « sylviculture dynamique » privilégiant le développement d'une bonne stabilité individuelle des arbres, par des interventions maintenant le peuplement dans la zone « stable ».

Les modes de traitements

Le taillis simple à courte rotation est un exemple typique de sylviculture adaptée au vent. Les risques sont minimisés par une faible sensibilité des peuplements liés à une hauteur faible, et à des risques économiques réduits par une courte rotation (faiblesse des enjeux). Bien sûr, le choix du mode de traitement n'est pas déterminé par la seule analyse des risques liés au vent et l'objectif de production est généralement un déterminant primordial...

Les constats effectués après plusieurs tempêtes montrent dans plusieurs cas une sensibilité particulière des taillis sous futaie au vent. Cela ne semble pas être le cas au niveau national pour les tempêtes de fin 1999, néanmoins ce constat n'est pas vrai au niveau régional. L'extrême variabilité des structures de peuplements que recouvre le taillis-sous-futaie est probablement responsable des contradictions qui peuvent exister entre les différentes observations. On peut dire néanmoins que les « vieux » taillis-sous-futaie (nous entendons par là, par rapport au mode de traitement normal : pas de récolte des réserves, pas de balivage, retard dans la coupe du taillis) présentent des facteurs d'instabilité importants. La réserve est ancienne (l'âge est un facteur d'instabilité chez les feuillus) et les individus qui la composent subissent une modification des houppiers due à la fermeture du couvert, voire à la concurrence du taillis (mortalité des branches basses, densification des parties hautes), tendant vers une plus grande instabilité. De plus, il est démontré dans le cas du chêne que les arbres issus du taillis présentent des taux d'infection par les pourridiés racinaires supérieurs à ceux qui sont observés pour les arbres de franc pied. La tendance est à une nette augmentation de ce type de peuplements : en 12 ans, la surface où le taillis a plus de 40 ans a augmenté de 600 000 ha, soit + 72 %.

Les régimes de futaie produisent des arbres plus hauts (sensibilité au vent) et des volumes plus élevés de bois de valeur (risque économique plus fort).

Les données sont objectivement insuffisantes pour comparer l'efficacité des systèmes réguliers et irréguliers et se prononcer sur la supériorité d'une sylviculture par rapport à l'autre. Les systèmes irréguliers en particulier recouvrent en fait des situations très diverses, de surcroît toutes peu représentées en France, mais aussi dans les pays voisins. On peut tout au plus dresser un bilan des avantages et inconvénients des deux modes de traitement sous forme de tableau. Pour cet exercice, il a été choisi de considérer la futaie jardinée pied à pied et la futaie régulière, afin de se limiter à des cas simples et tranchés :

AVANTAGES EN TERME DE STABILITÉ		
	Futaie régulière	Futaie jardinée
Faible rugosité du peuplement	+	-
Bonne stabilité individuelle des arbres	+/-	+

Arbres peu exposés au vent (sauf lisière)	+	-
Peuplement stabilisé par effet bloc	+	-
Présence de production à l'échelle de la forêt	+/-	+/-
Structure permettant d'éviter les chablis généralisés par effet de château de cartes	-	+
Résilience économique	+/-	+/-
Résilience écologique : présence de semis et jeunes tiges	-	+

+ Oui (toujours)

+/- Pas toujours (conditionnelle)

- Non (jamais)

Notons que la comparaison, pour un propriétaire, dépendra de la surface de la propriété et de la part de la forêt dans son patrimoine.

Les essences

En plus des interactions déjà évoquées entre l'espèce et d'autres facteurs (dont station et sylviculture), chaque essence est généralement utilisée préférentiellement dans un contexte donné et avec une sylviculture donnée, ce qui rend alors les comparaisons entre essence pour le moins hardies (est-il possible de comparer des épicéas de Sitka écossais gérés avec une sylviculture « Atlantique », avec des peupliers à fort espacement ?). L'analyse de la sensibilité des espèces nécessite donc une extrême prudence, mais il est possible néanmoins de livrer quelques éléments objectifs.

- Dans les conditions où le système racinaire peut se développer en croissance libre, les espèces tendant à développer un système racinaire en cœur possèdent un meilleur ancrage au sol et sont moins sensibles au déracinement (cf. supra). Sur sol mouilleux, les essences à système racinaire traçant présentent de grands risques de déracinement (ex : épicéa).
- Du fait d'une plus grande perméabilité du houppier, les feuillus, défeuillés en automne / hiver, sont moins sensibles que les résineux (sauf mélèze) pendant cette période (qui correspond à la très grande majorité des tempêtes).
- Sur sol profond (systèmes racinaires bien développés) et pour des arbres de hauteurs égales, des essais de tractions ont mis en évidence une très bonne résistance du hêtre, puis du chêne, une résistance moyenne du douglas, et une résistance médiocre de l'épicéa. Les dégâts se répartissaient ainsi : cassure au niveau du tronc pour le hêtre et le chêne, ruptures au niveau du collet pour le douglas, déracinement pour l'épicéa.

Il convient de nuancer l'intérêt de l'adaptation des essences à la station du point de vue de la stabilité des peuplements, qui n'est pas nécessairement positive et peut présenter des effets pervers. Par exemple :

- un puissant ancrage au sol permet certes de lutter efficacement contre les risques de chablis, mais en cas de vent très violent, ce sont alors des volis qui risquent de se produire. Or, ce dernier type de dégât entraîne une perte économique bien plus conséquente (bois cassé totalement ou très fortement déprécié) et une plus grande difficulté à reboiser en cas de travaux mécanisés du fait de la présence de chandelles ;
- dans certains cas, une très bonne adaptation à la station, au sens où les arbres trouvent des conditions de croissance et de développement très favorable, peut entraîner une grande instabilité (exemple : tendance du hêtre à atteindre des hauteurs importantes sur stations mésotrophes à eutrophes).

Si l'augmentation de l'âge se traduit par une plus forte instabilité dans le cas des feuillus, il est possible que les choses ne soient pas aussi linéaires chez les résineux. La phase de plus grande sensibilité semble correspondre à la tranche d'âge 20 – 60 ans pour le pin sylvestre, et 80 – 120 ans pour l'épicéa.

Il n'a pas pu être mis en évidence d'effet du mélange sur la stabilité des peuplements. L'étude des dégâts par type des peuplements menée en Bavière en 1990 et dans le cas

d'un mélange dans la strate dominante semble montrer que la sensibilité des mélanges résulte plus des sensibilités des essences en présence que du caractère pur/mélangé. Une conséquence fréquente des tempêtes dans les peuplements mélangés, y compris dans la même strate, est la perte du caractère mélangé par écrémage d'une essence (plus sensible ou dont les individus sont un peu plus hauts).

Partie 2 : Pourquoi et comment reconstituer un patrimoine forestier endommagé ?

Objectifs, politiques forestières et aménagement du territoire

Les recommandations que l'on peut émettre sur l'intégration du risque tempête pour la reconstitution des peuplements sont indissociables des objectifs donnés à la forêt. La première partie du rapport a montré qu'il n'y avait pas un modèle unique de sylviculture garantissant les peuplements contre les vents violents et que la vulnérabilité accrue de la forêt française aux tempêtes venait en partie de l'évolution des objectifs qui lui étaient fixés. La définition des objectifs incombe naturellement au propriétaire. Les décisions de celui-ci sont néanmoins encadrées par la politique nationale déclinée en orientations régionales forestières. D'une façon générale, la politique définie à travers la stratégie forestière nationale et le projet de loi d'orientation forestière vise la prise en compte des différentes fonctions de la forêt (au niveau d'un territoire pertinent pour cela) et à mieux intégrer la gestion forestière dans le territoire.

En premier lieu, il faut souligner que les différentes fonctions ou services rendus par la forêt, n'ont pas la même vulnérabilité à l'égard du risque tempête. La fonction de production est incontestablement la plus vulnérable. A l'égard de la biodiversité, la tempête doit être considérée comme une perturbation (au sens écologique du terme)¹. Certains experts considèrent que l'impact des perturbations sur la biodiversité est fonction de la fréquence et de l'intensité des perturbations selon une courbe d'abord croissante, puis décroissante. Les tempêtes de décembre 1999 constituent un phénomène d'occurrence rare, néanmoins le caractère exceptionnel est plus lié à l'ampleur des surfaces concernées qu'au niveau des dommages mesurés localement (il existe des parcelles dans un état voisin après n'importe quelle tempête de forte intensité). Par ailleurs il faut considérer qu'en termes de niveau local de la perturbation, les tempêtes ne constituent pas, d'une façon générale une catastrophe écologique. Les fonctions sociales (promenades, contemplation, ...) sont également touchées, mais généralement de façon légère ou temporaire, en dehors de la valeur d'existence accordée à des peuplements ou des arbres remarquables. Le problème a d'ailleurs souvent consisté à interdire l'accès dans les parcelles comportant un risque pour les usagers. Par ailleurs, des usages comme la chasse peuvent, dans certaines conditions, subir une gêne temporaire, mais être valorisés par la suite (augmentation de la capacité d'accueil des cervidés).

En second lieu, la tempête a un impact social à deux niveaux. D'une part, elle a un impact direct sur les motivations et les attitudes des propriétaires et des gestionnaires. Cet impact ne se limite d'ailleurs pas aux seules personnes sinistrées. Comme après chaque cataclysme, on note un découragement (volonté de vendre, d'arrêter tout investissement...) et un appel à la solidarité nationale pour l'indemnisation et l'aide à la reconstitution. L'étude de l'évolution des comportements face au risque, montre classiquement que ces sentiments s'estompent avec le temps. Ces résultats sont confirmés par l'observation des comportements suite à la tempête de 1987 en Bretagne : moins de 15 % des forêts sinistrées ont de fait été laissées à l'abandon.

D'autre part, la tempête fonctionne comme une crise et constitue alors une opportunité pour relancer le débat social. Ce débat porte d'une part sur la durabilité de la gestion sylvicole et les itinéraires techniques adaptés. Il porte également sur la place de la forêt dans les territoires. Sur ce second plan, il faut tout particulièrement souligner les interrogations soulevées par divers élus sur l'opportunité de reconstituer la forêt partout où elle a été détruite. Ceci s'applique plus particulièrement à des secteurs géographiques où le taux de boisement est perçu comme excessif par les populations locales. Cela s'applique également à des espaces considérés comme prioritaires à l'égard d'autres politiques.

La meilleure intégration de la forêt dans les territoires, souhaitée par le projet de loi d'orientation forestière, voudrait que ces demandes puissent être prises en considération avant de mettre en œuvre des projets de reconstitution. Toutefois, le décalage de temps entre l'urgence des reconstitutions et le délai du débat social rendra très difficile la

¹ Dont l'impact n'est pas forcément négatif.

généralisation de cette démarche. La réussite d'un tel projet est subordonnée à trois facteurs :

- L'existence d'une structure de concertation entre acteurs permettant d'élaborer un projet collectif de territoire (et non un seul projet forestier collectif) ;
- L'existence d'une animation locale susceptible de faire avancer la négociation ;
- L'adhésion des propriétaires concernés.

Dans la pratique, ces conditions peuvent être réunies dans les Parcs Naturels Régionaux. La reconstitution devrait effectivement s'étaler sur une dizaine d'années, il serait donc opportun de réfléchir aux moyens de promouvoir des structures adéquates pour permettre, ailleurs, une approche territoriale.

Par ailleurs, l'aboutissement de tels projets est conditionné par l'adoption de mesures dérogatoires qui lèvent les obstacles administratifs à tout changement de mode d'occupation du sol (taxe et autorisation de défrichement, remboursement d'éventuelles aides publiques ou réductions d'impôts, ...).

Enfin, la tempête pourrait être considérée comme une opportunité pour réviser les schémas de localisation de certains enjeux dont la pertinence s'apprécie à l'échelle nationale (réseau Natura 2000, schéma de service collectif des espaces naturels et ruraux...). Cette possibilité doit incontestablement être saisie pour la propriété de statut public, domaniale en particulier, notamment pour la constitution d'un réseau de forêts non gérées. Il ne paraît par contre pas opportun, sauf compensation contractualisée, d'ajouter cette hypothèque aux soucis actuels de la forêt privée.

Diagnostic et stratégies de reconstitution

Le diagnostic et les stratégies de reconstitution, dans l'esprit de ce qui précède, ne concernent pas seulement l'échelle de la parcelle ou de la propriété forestière. Certains aspects touchent à des enjeux nationaux et régionaux, ou à des enjeux locaux. Ces derniers peuvent se situer soit au niveau de l'aménagement du territoire, soit au niveau de la délimitation des propriétés au sein du massif forestier.

- La région administrative est le niveau pertinent pour identifier la perspective d'une action au niveau du territoire pour les programmes de reconstitution, et décider des moyens correspondants à mettre en œuvre.
- Il importe de favoriser les synergies entre les décisions prises à des échelles différentes, au niveau d'unités territoriales imbriquées ou superposées, et des propriétés forestières, afin de donner une cohérence globale à la reconstitution.
- A l'échelle de la parcelle ou de l'unité de gestion, le diagnostic préalable est une phase clé pour la prise de décision en matière de reconstitution et pour la réussite des projets.

Etablissement et prise en compte des bilans environnementaux

Les fonctions environnementales de la forêt peuvent être affectées par les dégâts liés aux tempêtes. Les impacts indirects liés à la qualité des travaux de reconstitution seront abordés ci-dessous dans les techniques sylvicoles.

Une première conséquence de la tempête devrait être un fort déstockage de carbone lié à l'abondance en forêt des chablis, ainsi qu'à la mise à nu et au travail du sol. L'enjeu est ici d'ampleur au moins nationale. Même si les autres facteurs influençant les choix en matière de nettoyage et de travail du sol priment, il n'est pas impossible qu'ils soient en accord avec l'affichage d'une réduction du déstockage de carbone. Par exemple, éviter le brûlage des rémanents et limiter les perturbations sur les sols vont dans le sens de la préservation du stock de carbone en forêt. Certaines actions de reboisement peuvent également être favorable à la fixation du carbone, comme la plantation d'essence à croissance rapide, mais à moyen terme, ces mesures doivent donner suite à l'exploitation et l'utilisation du bois dans des produits « durables ».

L'analyse des conséquences des modifications du couvert végétal sur l'hydrosystème s'effectue au niveau du bassin versant. Il faut envisager de forts taux de déforestation (de l'ordre de 30 %) pour enregistrer des répercussions notables ; ceux-ci devraient donc être peu affectés de manière directe par la tempête, hormis localement. Les impacts sur le fonctionnement des bassins versants sont fonction du pourcentage de surface affectée et du taux de couverture du sol, et s'avèrent donc indissociables de l'exploitation après chablis, mais ceux-ci ne sont significatifs que pour des surfaces totalement mises à nu de l'ordre de 20 % du bassin versant, et 50 % dans le cas de chablis épars. En l'absence d'intervention, les impacts sur l'hydrosystème seront perceptibles mais de courte durée (dans les 3 ans à venir). Localement, les zones de forte pente susceptibles d'être soumises à l'érosion devront être identifiées. En plaine, les conséquences portent plutôt sur la qualité des eaux et en particulier sa turbidité. Il convient donc pour une part d'éviter la mise à nu de surfaces importantes au niveau des bassins versants pendant un temps important, mais cette précaution est peu contraignante. La reconstitution devrait également prendre en compte les problèmes d'acidification des eaux induites par le reboisement en certaines essences lorsque les surfaces concernées sont importantes et le substrat acide (ex : boisement d'épicéas dans certains fonds de vallons des Vosges).

Du point de vue de la biodiversité, la tempête peut avoir eu un impact sur les stratégies de conservation adoptées ou en cours de mise en place, et il convient alors de les réévaluer.

La diversification d'habitats que la tempête a parfois introduite pourrait être utilisée dans la constitution d'un réseau français de conservation de la biodiversité intégré au Réseau Écologique Paneuropéen du Conseil de l'Europe. L'efficacité d'une structure de type réseau de ce type, optimisant la dispersion des espèces entre différents « noyaux » pour favoriser le brassage, dépend fortement de la diversité des habitats au niveau des « noyaux » (= nœuds du réseau), afin que ceux-ci puissent permettre à de nombreuses espèces de transiter et de s'y abriter, et qu'ils possèdent une richesse spécifique suffisante pour être eux-mêmes source de dispersion. La tempête doit donc conduire d'une part à repenser la structure du réseau, en intégrant si possible de nouveaux nœuds, et éventuellement à restaurer un certain nombre de corridors (structures linéaires de type haies, souvent couchées en Normandie par exemple).

La logique est sensiblement différente dans le cas de peuplements présentant un intérêt de préservation particulier et touchés par la tempête (par exemple dans le cas des réseaux de réserves naturelles ou des réseaux de conservation des ressources génétiques forestières *in situ*). Dans ce cas, les efforts porteront sur un inventaire des dégâts et la restauration autant que possible des peuplements. Là encore, il conviendra éventuellement de repenser les dispositifs nationaux : identification de « nouveaux » candidats pour remplacer des peuplements endommagés et adaptation du dispositif pour limiter la remise en cause des enjeux.

En fait, chacun des aspects caractérisant la valeur patrimoniale des peuplements (culturelle, esthétique...) est de la même manière susceptible de faire l'objet d'un inventaire et d'une évaluation des situations post-tempête permettant la mise en place de mesures de reconstitution, au niveau de territoire pertinent.

Risques d'incendies et stratégies de prévention

Il ne fait pas de doute que le risque d'incendies sera accru l'été prochain, y compris dans des régions où il est habituellement marginal, du fait de la présence au sol d'un matériau propice à sa propagation. Dans les parcelles touchées par les chablis, la quantité de combustible au niveau des strates basses de végétation va en effet passer de quelques tonnes par hectare à quelques dizaines de tonnes. Ce risque sera amplifié en cas de sécheresse estivale, et sera dans les secteurs concernés probablement plus élevé que le risque habituel en région méditerranéenne.

Le cloisonnement des zones de chablis par la réouverture des pistes existantes combinée avec un déblaiement des matières combustibles de part et d'autre des pistes représente une mesure efficace contre les incendies généralisés pour faciliter l'accès des moyens de lutte.

Le brûlage dirigé a pour objectifs attendus de réduire les quantités de combustible au sol et de nettoyer les parcelles. En fait, la combustion des bois de diamètre supérieur à 1 cm

s'opérant de façon incomplète, le nettoyage des parcelles ne peut pas être réalisé par cette méthode, hormis en cas d'andainage préalable. Par ailleurs, le brûlage dirigé présente un double inconvénient : l'exportation d'éléments minéraux et organiques, particulièrement sensible sur sols pauvres, et la maîtrise de la combustion. Les fenêtres météorologiques permettant de brûler sont réduites et le danger d'incendie est toujours présent. Il faut donc :

- privilégier le cloisonnement des zones en chablis pour éviter la propagation des incendies ;
- limiter le recours au brûlage dirigé aux seules situations où il n'est pas possible de réduire la quantité de combustible au sol par d'autres moyens, et aux conditions météorologiques adéquates ; il faut néanmoins la proscrire sur sols pauvres ;
- localement, dans les régions à risque, il faudra renforcer le dispositif d'incitation au nettoyage des parcelles.

Une nécessaire maîtrise des populations d'ongulés

La modification de la dynamique des populations d'ongulés suite aux tempêtes résulte :

- d'une mortalité directe marginale ;
- d'une natalité parfois perturbée l'année suivante : mortalité intra-utérine, pertes néonatales... ;
- d'une réduction possible de la pression de chasse liée à des difficultés, voire à une interdiction d'accès à la forêt (c'est le cas pour les tempêtes de 1999) ;
- de l'apparition de conditions d'alimentation généralement beaucoup plus favorables, du fait de la mise à disposition de matériel habituellement non mobilisable (bourgeons, jeunes pousses...), et de l'apparition dans les trouées d'une végétation souvent appétente.

On peut donc s'attendre à une augmentation notable des populations dans les années à venir. Les niveaux de populations seront éventuellement très contraignants pour la réussite de la régénération et la tenue des jeunes peuplements. Leurs effets se feront également sentir sur la dynamique de la végétation, avec risques de disparition d'espèces. Enfin, les conséquences hors forêt porteront notamment sur l'agriculture, voire sur la sécurité routière (en forêt périurbaine notamment).

La première série de mesures nécessaires vise à se donner les moyens de réguler de façon adéquate les populations d'ongulés. La régulation du grand gibier en forêt fait traditionnellement intervenir les chasseurs, qui doivent se conformer contractuellement à des plans de chasses négociés au niveau départemental. Les niveaux de prélèvement en France sont faibles par rapport à ce qui s'opère par exemple en Allemagne, mais cela est à mettre en relation avec des niveaux de population également plus faibles. Partout où un diagnostic fera apparaître la nécessité d'augmenter ces prélèvements, il conviendra en premier lieu de renégocier les plans de chasse en concertation avec les chasseurs. Il est possible par ailleurs que la mise en œuvre de techniques de chasse peu usitées et efficaces dans les forêts encombrées, comme la chasse à l'affût, facilitent un meilleur niveau de réalisation tout en étant « psychologiquement » facilement acceptable. L'expérience montre cependant que l'acceptation et la réalisation de plans de chasse en augmentation sont souvent problématiques, et la mobilisation des chasseurs, quoique nécessaire, risque donc dans certains cas d'être insuffisante. Dans la mesure où l'augmentation des populations de grand gibier porterait les effectifs à des niveaux non soutenables pour certaines fonctions de la forêt, et où le seul recours aux chasseurs n'aboutirait pas à un contrôle suffisant, il conviendrait alors de faire appel aux autres dispositions réglementaires de régulation des populations. Ceci ne peut pas s'envisager sans une concertation avec toutes les parties concernées et notamment les chasseurs.

De manière complémentaire, il sera nécessaire de prendre en compte les problèmes d'ongulés en adaptant les choix de reconstitution à une augmentation de la pression de gibier sans doute inéluctable.

Les plus petites trouées ne s'apparentent qu'à une éclaircie anormalement forte, et devraient constituer des zones de gagnage prisées par le grand gibier. Dès lors, il semble raisonnable de miser sur les capacités de cicatrisation naturelles du peuplement. Dans le

cas de trouées plus importantes, il convient de garder à l'esprit que les régénérations naturelles sont moins menacées en général par le grand gibier que les plantations, et peuvent donc être privilégiées lorsque cela est possible (le hêtre, notamment, a eu une faignée importante en 1999 et il est peu appétent). On peut imaginer intervenir de façon ciblée en complément après quelques années, avec des moyens adaptés de protection des plants.

Dans tous les cas, il faudra autant que possible tirer parti de la végétation associée, qui pourra constituer un substitut alimentaire par rapport aux essences objectifs.

Evaluation et contrôle des principaux ravageurs et maladies associés aux chablis

Les problèmes phytosanitaires liés à la tempête peuvent être de deux ordres : menaces sur les peuplements sur pied et sur le succès des régénérations liées à un développement des agents pathogènes et des ravageurs ou à une modification brutale des conditions de milieu (ex : brûlure de l'écorce des hêtres), et dégradation des bois sur parc affectant leur valeur marchande, voire leur qualité technologique. Ce second aspect n'étant pas strictement relié aux problématiques de reconstitution ne sera pas abordé ici.

Les insectes sous corticaux, capables de dynamiques de population "explosives", constituent une menace immédiate et souvent très sérieuse sur les peuplements en place. Le plus grand sujet d'inquiétude concerne le typographe (*Ips typographus*) sur épicéa, dont on connaît la rapide capacité de pullulation, et l'agressivité à des niveaux de population élevés. Un état physiologique des arbres déficient, et au niveau local une concentration particulière de chablis constituent autant de facteurs aggravants. En revanche, des conditions défavorables aux insectes (climatiques par exemple), peuvent freiner le développement des populations.

Les champignons pourraient également affecter les peuplements en place. En particulier, les blessures des systèmes racinaires des arbres secoués par le vent constituent des portes d'entrées pour les pourridiés racinaires, et une dégradation sanitaire des peuplements concernés est envisageable. Dans le cas du *Fomes*, les souches constituent une porte d'entrée pour le champignon, lequel peut se développer dans la souche puis se propager aux arbres vivants par contact racinaire, mettant en question la reconstitution elle-même.

Les principes régissant les méthodes de lutte contre les insectes diffèrent peu quel que soit l'insecte considéré, c'est le caractère d'urgence des mesures à mettre en œuvre qui varie en fonction du risque. Il s'agit d'une exploitation rapide des arbres en forêt, assorti éventuellement d'un nettoyage du terrain dans les zones à risque (le broyage de rémanents est très efficace), d'un traitement adapté des arbres abattus par aspersion (cas du chêne), écorçage (très efficace contre les scolytes sous-corticaux des sapins et épicéas, voire pins) voire traitement insecticides rigoureusement contrôlés, d'un stockage des bois réalisé si possible dans des lieux ne permettant pas la colonisation (à plus de 10 km des forêts), et d'une capacité à limiter ces stocks, ce qui suppose un fonctionnement de la filière-bois se rapprochant du flux tendu. Le piégeage aux phéromones donne des informations utiles bien que partielles pour le suivi des populations, mais ne permet pas de réguler efficacement les populations en cas d'infestation généralisée. Enfin, les mesures préconisées ci-dessus ne sont pas réalistes dans le cas de dégâts généralisés sur de vastes surfaces. Il faudra donc s'attacher en priorité à traiter les peuplements mités, nécessitant moins de travaux et présentant encore une valeur d'avenir importante.

Pour les peuplements résineux (épicéas et pins principalement), un traitement des souches en prévention du *Fomes* peut être envisagé. Lorsque le champignon était déjà très présent dans le peuplement d'origine, il pourra être indiqué de procéder à une substitution d'essences.

Le diagnostic au niveau de la forêt et des parcelles

Sur le terrain, le diagnostic porte sur la nature des dégâts : leur intensité et leur répartition, et l'encombrement de la parcelle. Ce diagnostic va de pair avec une évaluation du peuplement restant : sa valeur économique, bien sûr, mais aussi sa capacité à assurer par la suite et au besoin une régénération naturelle (la présence de semenciers dans les parcelles voisines et l'existence d'une banque de semences dans le sol devra aussi être

prise en compte), et les risques associés à sa présence (chute d'arbres ou de branches, risques sanitaires) ou à son absence (remontée de plan d'eau, mise en lumière du sol).

En futaie régulière, c'est dans les situations intermédiaires, entre des taux de dégâts portant sur 30 à 70 % des tiges d'avenir (ou 1/3 à 2/3 de la surface terrière), qu'un diagnostic approfondi est nécessaire. En dessous, les travaux se limitent à l'exploitation des chablis et au déblaiement si nécessaire, et au-dessus duquel il s'avère indispensable de reconstituer.

Dans l'hypothèse de travaux d'exploitation des chablis et/ou de reconstitution, notamment mécanisés, les contraintes extérieures à la parcelle devront également être passées en revue. Les problèmes d'accès, en particulier, n'auront peut-être pas été réglés avant la tempête. Par ailleurs, l'importance du chantier au niveau national, avec des « pointes » au niveau local, pose déjà des problèmes de disponibilité des matériels, des hommes et des entreprises qui devront être pris en considération.

Dans bien des cas, les dégâts liés à la tempête sont d'une ampleur suffisante pour remettre en question la pertinence des objectifs de gestion. Un diagnostic, suivi d'une redéfinition de ces objectifs, traduite par une mise à jour des documents de gestion (aménagement ou PSG), est alors nécessaire ; une aide à la mise à jour de ces documents devrait être envisagée.

A l'échelle de la forêt...

En futaie régulière, l'évaluation des dégâts conduira, pour simplifier, à ré-établir les priorités en matière de régénération. Globalement, celle-ci pourra être anticipée y compris pour des parcelles du groupe d'amélioration, en cas de dégâts majeurs, ou différée, pour certaines parcelles du groupe de régénération non ouvertes et peu touchées pour conserver l'équilibre du groupe de régénération. Cette évaluation peut utiliser les cartes de dégâts obtenues par photo-interprétation, qui suffisent à la discrimination des cas tranchés (peuplements ruinés ou intacts), complétées si nécessaire par un inventaire de terrain, utile pour la quantification des dégâts dans les peuplements partiellement endommagés. L'accès à ces cartes, notamment par les gestionnaires de la forêt privée, serait une mesure simple d'aide au diagnostic.

En futaie irrégulière, seule une destruction quasi-totale du peuplement remet fondamentalement en cause les objectifs au niveau parcelle (la régularisation de la parcelle après reconstitution est alors inévitable). Il est possible de réaliser, lorsque les accès sont suffisants, une carte des types de peuplements après tempêtes pour ré-affiner les objectifs.

L'estimation des volumes restants s'effectue sur la base d'inventaires. Il est statistiquement efficace de réaliser un inventaire stratifié sur la base des types de dégâts, de manière à constituer des échantillons homogènes, de faible variabilité interne, et de réduire le nombre de placettes nécessaires à la description des types de peuplement associés. Cette stratification peut s'appuyer sur la photo-interprétation des peuplements, ou sur une exploration systématique préalable du terrain relevant des variables simples descriptives de l'intensité des dégâts.

Potentiel de régénération naturelle : quel devenir en l'absence d'interventions

Certaines parcelles n'ont pas fait l'objet de travaux de reconstitution suite aux tempêtes des années passées. Deux cas sont possibles : une exploitation / extraction préalable des bois en place, ou l'abandon total des parcelles. On constate dans certains cas que le peuplement ne s'installe pas rapidement (il n'est pas encore en place après 10-15 ans), et que ces phases sont souvent associées à une colonisation par des espèces sociales (fougère-aigle, molinie). Néanmoins, il est trop tôt par rapport aux études en cours pour être catégorique quant au déterminisme qui préside à l'installation de tels « blocages », et pour conclure à une situation définitive (il est même probable que sur plusieurs décennies, la forêt finira par reprendre ses droits). Apparemment, dans la plupart des cas, les semences forestières sont présentes, et il existe donc des situations dans lesquelles ce potentiel de régénération ne peut pas s'exprimer.

La mécanisation a sous certaines conditions un impact marqué sur les sols (cf. techniques sylvicoles). Il n'est guère surprenant que, dans les dispositifs en cours d'études, les travaux d'extraction des bois à l'aide d'engins lourds semblent avoir joué un rôle dans certains cas, d'autant que ce type de travaux peut également mettre en cause les semences elles-mêmes (décapage des horizons superficiels), et induire une mise en lumière favorisant l'envahissement par des espèces héliophiles sociales (ronce, genêt, fougère aigle...).

Il faut enfin ajouter que la durée de décomposition des bois non démembrés et non plaqués au sol peut, selon l'essence et le diamètre, dépasser allègrement la décennie et constitue un réel obstacle à l'accès et à la circulation dans la parcelle.

Elaboration des stratégies de reconstitution des peuplements

Quelles options de régénération ?

Le choix entre régénération naturelle et plantation est pour partie indépendante de la tempête, mais il n'est pas inutile d'évoquer ici les fondements de ce choix, d'abord à titre de rappel, mais aussi parce que le contexte post-tempête n'est pas sans influence sur les avantages et inconvénients de ces deux méthodes.

	avantages	inconvénients
Plantation	<ul style="list-style-type: none"> - Accès, composition du peuplement fixés dès le départ □ facilités de pilotage des opérations - Rapidité de constitution du peuplement - Valorisation du progrès génétique 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts à l'installation (nécessite de pouvoir mobiliser « instantanément » une capacité d'investissement) (1) - Ampleur des travaux de préparation (mécanisation) (1) - Sensibilité aux ongulés (1) - Faible richesse spécifique - Disparition des successions végétales
Régénération naturelle	<ul style="list-style-type: none"> - Peu de travaux de préparation (2) - Moindre sensibilité aux ongulés (2) - Maintien des premiers stades de la dynamique naturelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Acquisition de la régénération incertaine (1) - Conduite du peuplement - Parfois consanguinité si peu de semenciers
Plantation à faible densité en complément de la régénération naturelle	<ul style="list-style-type: none"> - Investissements initiaux plus faibles (1) - Stratégie opportuniste : possibilité de minimiser les investissements en plantation en fonction de la qualité de la régénération naturelle - Plantation différée □ possibilité de commander ses plants à l'avance (disponibilité) et d'en définir la qualité par exemple au travers d'un contrat de culture (1) - Maintien d'une partie de la dynamique naturelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût individuel des plants (y compris protection individuelle) - Difficulté d'installation des plants (impossibilité de mécaniser une partie de la plantation) - Difficulté à retrouver les plants installés en complément dans la suite de la vie du peuplement □ quelle « plus value » pour le peuplement final ?

(1) avantage / inconvénient amplifié suite aux tempêtes

(2) avantage / inconvénient remis en cause suite aux tempêtes

Le contexte de l'après-tempête va influencer sur l'organisation et les méthodes mise en œuvre pour la régénération des parcelles :

- l'organisation et le financement des travaux, ainsi que la disponibilité en matériel végétal adapté (du point de vue génétique, en relation avec la station, ne présentant pas de défaut) et en matériel, va conduire à un nécessaire étalement des travaux de plantation ;
- par rapport à une situation normale, l'ampleur du chantier va conduire à privilégier les méthodes les plus économiques dans un premier temps, et donc à essayer de tirer parti autant que possible de la régénération naturelle, y compris dans des contextes où la plantation en plein était de rigueur. La gamme des densités de plantation est alors vaste, du simple enrichissement au complément de régénération naturelle par plantation, et dépend en particulier de la qualité de la régénération naturelle et du choix et du tempérament de(s) l'essence(s) objectif(s). Il convient néanmoins de noter que l'obtention d'une régénération naturelle sera sans doute plus difficile à obtenir pour toutes les essences pour lesquelles les techniques de régénération naturelle par coupes progressives sont le mieux adaptées (c'est le cas du chêne et du hêtre mais pour ce dernier, la bonne faînée de 1999 laisse espérer une régénération naturelle peu problématique). Enfin, pour d'autres essences (type épicéa, douglas ou pins), la régénération naturelle peut s'avérer difficile à obtenir ou peu souhaitable (pour des questions de qualité de peuplements principalement).

Le choix entre les méthodes de reconstitution par plantation, régénération naturelle, ou méthodes mixtes dépend de l'objectif fixé de la forêt, des essences présentes (la situation est à cet égard très différente entre une chênaie, une ancienne plantation de Douglas ou de pin sylvestre), de la compétence du gestionnaire et du diagnostic réalisé sur la parcelle, ces deux derniers points devant permettre de limiter le risque d'échec associé à la reconstitution.

Economie comparée des scénarii sylvicoles

Le choix des objectifs assignés à la forêt et le diagnostic des peuplements en place ont permis de dégager les principales options de reconstitution. Les scénarii sylvicoles correspondants peuvent être testés pour en comparer l'efficacité économique. L'analyse économique des scénarii de reconstitution fait en général appel aux théories de l'actualisation. Cette analyse doit, pour être pertinente, tenir compte du facteur risque à la production, ce qui est rarement le cas jusqu'à présent (cf. infra). Les observations antérieures ont permis d'établir nombre de seuils d'instabilité des peuplements (pour les résineux surtout). Il est donc possible d'intégrer ce paramètre dans les calculs économiques associés aux modèles de croissance², ce qui pourrait donner les premiers éléments d'aide à la gestion. Ce travail n'est cependant pas engagé et reste à faire. Elle prendra en compte les mesures incitatives associées à la reconstitution, qui peuvent évoluer au cours du temps.

Par contre, il faut reconnaître qu'aujourd'hui, nous ne disposons pas des modèles d'endommagement (courbe des niveaux de dégâts en fonction de la fréquence de l'aléa), indispensables pour une évaluation économique rigoureuse du risque. Il y a là un champ d'investigation important. Signalons l'approche menée par un grand propriétaire et gestionnaire de forêts. Pour des scénarii sylvicoles choisis, il met en relation les dégâts observés dans ses forêts avec la durée de retour de « fortes tempêtes ». Le modèle qui en résulte est très simple et empirique, mais peut constituer une première étape. En cohérence avec la sylviculture « Atlantique » des Anglo-Saxons, ce modèle conduit à privilégier des résineux à forte productivité et courte révolution à des feuillus à révolution plus longue, même si les premiers présentent une plus forte sensibilité.

Sur le plan immédiat de la reconstitution, il faut souligner que les décisions d'investissement des propriétaires sont très généralement dictées par la contrainte de liquidité, plus que par un raisonnement sur la rentabilité économique de l'investissement. Cela explique la sensibilité forte de leur décision aux aides à la plantation. Dans le cas présent, la sensibilité est encore augmentée par deux facteurs. D'une part, cette contrainte de liquidité est à un niveau critique en raison de la faiblesse des revenus liée aux dégâts physiques et à

² Au niveau peuplement, dans certains contextes simples et bien étudiés, peuplements réguliers monospécifiques essentiellement, l'utilisation de logiciels basés sur des modèles de croissance et comportant si possible des modules économiques (type Oasis ou Capsis), peut constituer une aide précieuse à la décision.

l'effondrement du marché du bois, et de l'augmentation du coût des reboisements. D'autre part, le contexte psychologique est, comme nous l'avons vu précédemment à la démotivation. Le dispositif d'aide publique à la reconstitution sera donc tout à fait déterminant à la fois sur le principe même d'une reconstitution et sur le niveau d'investissement.

Optimiser les techniques sylvicoles

Le présent chapitre n'a pas vocation à se substituer aux manuels de reboisement. Il ne s'intéresse en effet qu'à la manière de traiter les problèmes spécifiques à l'après-tempête, liés plus particulièrement à l'importance de bois au sol, aux données écologiques originales (gibier, risque pathogène) et à l'économie de la reconstitution. Il faudrait bien sûr ajouter que les techniques favorables à la stabilité devraient être privilégiées, et les techniques défavorables évitées, mais la description des situations aggravantes en première partie de document informe suffisamment à ce sujet.

Travaux spécifiques de restauration et de préparation à la reconstitution

L'exploitation des chablis est une préoccupation légitime après la tempête, mais même lorsque les produits de la tempête ont perdu toute valeur commerciale, un déblaiement au moins partiel est nécessaire dans les parcelles largement touchées afin de pouvoir accéder aux parcelles et s'y déplacer. Les tempêtes précédentes montrent que les difficultés de déplacement générées par la présence de matériel au sol portent sur des durées importantes (certaines parcelles présentent toujours de telles difficultés depuis la tempête de 1982 en Auvergne). Il semble indispensable de subventionner un déblaiement minimum des parcelles. Il s'agit d'un minimum modulable régionalement, parfois assez bas lorsqu'il s'agit juste de permettre un accès aux parcelles et un déplacement à l'intérieur de celles-ci, parfois plus élevé, par exemple en cas de risque d'incendie. Cette opération conditionne la plupart du temps la gestion forestière, et, selon les cas, limite les risques phytosanitaires et d'incendie.

La présence en abondance de rémanents complique ou rend impossible les travaux forestiers et elle est associée à des risques phytosanitaires et d'incendie déjà évoqués. Leur broyage en plein permet le maintien et la disponibilité rapide des éléments organiques et minéraux. Cependant, il peut laisser place à un « mulch » (accumulation au sol de matière organique) parfois épais, pouvant être responsable du pourrissement des semis et d'une toxicité passagère. Cette méthode n'est donc adaptée que lorsque la quantité de rémanents n'est pas excessive.

La méthode la plus classique pour résoudre le problème est l'andainage. Toutefois cette opération concentre dans les andains des éléments organiques et minéraux qui, une fois libérés dans le sol, ne sont disponibles que pour une faible part du peuplement (surtout si les andains sont très espacés). Le brûlage des andains transforme ce stockage théoriquement temporaire en exportation brute, sans compter les risques d'incendies auxquels une telle opération peut être associée : il est donc à proscrire autant que possible. L'andainage favorise également la prolifération de certains ravageurs et de rongeurs. Enfin, les techniques d'andainage font souvent appel à des engins (bull notamment) décapant à la fois rémanent... et humus. Cette opération devrait donc être évitée autant que possible, et en pratique, il est parfois suffisant de démembrer les houppiers et de n'extraire que les plus grosses branches (les seules à gêner réellement les travaux) en dispersant les rémanents de faibles diamètres qui pourrissent en quelques années au contact du sol. Une autre utilisation possible des rémanents consiste à les utiliser sur les cloisonnements, après broyage, afin de limiter l'impact du passage des engins sur les sols. Lorsque seul l'andainage s'avère faisable, il doit être réalisé avec des engins adéquats. La pelle mécanique sur chenille est bien adaptée, car elle ne décape pas les humus, elle permet la réalisation d'andains rapprochés moins perturbant pour la chimie du sol, et possède une faible pression au sol.

Dans bien des cas, les parcelles sont parsemées de souches de hauteur inhabituelle, gênante pour les travaux notamment en cas de reboisement, et nécessitant un traitement lorsqu'elles sont localisées sur les zones de déplacement des machines (principalement cloisonnements). Dans certains cas, la présence de ces souches constitue un risque pathogène majeur (cf. plus haut). L'idéal est de pouvoir déchiqueter la souche sur place,

avec du matériel type pelle munie d'une dent Becker. Lorsque les chablis sont abondants, il devient nécessaire de niveler le terrain et de remettre en place les galettes de chablis. Enfin, la chute et la vidange des arbres ou le passage des engins peuvent être à l'origine d'un tassement du sol de grande ampleur, rendant indispensable sa remise en état avant reconstitution, par labour notamment.

Les enjeux de la mécanisation dans le contexte post-tempête

Les effets de la mécanisation sur les sols prennent un relief particulier dû à l'ampleur du chantier et à la quantité de bois à terre, responsables d'une activité tout à fait exceptionnelle dans les forêts. Les sols peuvent être soumis à des dégradations chimiques liés au décapage des humus. Ce danger sera d'autant plus présent que les sols seront filtrants, acides, et à faible réserve minérale. Les sols sont également menacés par les tassements et l'orniérage, d'autant plus que la teneur en limon sera élevée, l'hydromorphie proche de la surface, la quantité de cailloux faible, et que l'humidité du sol sera importante. Les autres facteurs aggravants sont une forte pente, l'absence de végétation au sol, et un climat « agressif ».

Quelques grands principes se dégagent alors en matière de conduite de travaux qui portent sur :

- la mise en place de cloisonnements d'exploitation qui permet de concentrer les impacts des matériels sur le sol sur une surface limitée et non plantée par la suite ;
- le choix de la période d'intervention (éviter de travailler sur sol humide !) ;
- la protection des cloisonnements par épandage de tout ou partie des rémanents ;
- la mise en andain qui doit être évitée autant que possible (concentration des éléments organiques et minéraux) ;
- la mise à nu du sol qui ne doit pas être maintenue sur une trop longue période afin de limiter l'érosion physique et les modifications chimiques (perte de CEC par migration des éléments fins, drainage des nitrates...) ;
- le choix d'engins adaptés (pneus basse pression, chenilles).

La mise en place de cloisonnements répond aussi aux évolutions prévisibles de la sylviculture, qui fera de plus en plus appel à la mécanisation. Elle permet d'emblée de faire en sorte que les opérations futures dans les peuplements mis en place suite à la tempête s'effectuent dans les meilleures conditions.

En tout état de cause, les méthodes les plus performantes pour limiter les impacts font appel à des engins dont le parc en France est notoirement limité au moins pour certains modèles (gros broyeurs). Si de telles méthodes doivent être certes encouragées, il faut surtout proscrire les méthodes inadaptées et veiller au bon état du matériel utilisé.

Mesures environnementales associées à l'exploitation

Les tempêtes ont grandement modifié la nature et la distribution des micro habitats sur les parcelles affectées. En particulier, il s'en est créé de nouveaux qu'il est possible de conserver à moindre coût et à moindre effort, lorsque cela n'a pas de conséquences sur les travaux ultérieurs ou en terme de risque pathogène (cas des bois morts). Le nivellement, envisagé plus haut, n'exclut pas de laisser quelques galettes de chablis, et il en est de même pour les chandelles les volis et les chablis par (hectare X 10). Les bois morts abandonnés seront choisis parmi ceux ne présentant plus d'intérêt économique (du fait de la nature du dégât, de sa qualité ou de l'essence) et autant que possible dans une autre essence que l'essence-objectif du peuplement futur pour réduire le risque pathogène. Il est possible d'ébrancher le bois au sol abandonné en guise d'habitat pour limiter son encombrement.

Reconstitution par plantation : choix du matériel végétal

La tempête va entraîner un accroissement des besoins en matériel végétal au cours des prochaines années. Cela laisse présager des problèmes de fourniture de matériel végétal, lesquels peuvent se situer au niveau des quantités disponibles, de l'origine, de la qualité génétique ou de la qualité extérieure.

Après un effondrement des besoins en 2000 dû à l'impossibilité de préparer les chantiers en temps utiles, les besoins devraient croître fortement en 2001 et se situer pour plusieurs années au-dessus de la moyenne annuelle de la période précédente. La filière graines / plants présente néanmoins une capacité de production sous exploitée. Compte tenu de la durée de production des plants, l'adaptation de l'outil de production est surtout conditionnée par la possibilité de faire des prévisions fiables sur l'évolution des besoins. Certains experts pensent qu'une généralisation de la contractualisation (par contrats de culture) est souhaitable pour améliorer cette lisibilité. Ceci dépend à la fois du système d'aide publique qui sera mis en place et des choix qui seront faits pour encourager plus ou moins fortement la régénération par rapport à la replantation.

Au plan de la qualité, la tempête peut essentiellement provoquer des pénuries plus ou moins prolongées sur certaines essences ou provenances. Pour la plupart des résineux, les stocks de graines sont largement suffisants. La capacité de production des vergers de l'Etat n'est pas remise en cause, même si les vergers de pins maritimes ont subi des dégâts importants. Pour les feuillus, notamment à grosse graine, les possibilités de conservation sont parfois plus limitées. Les difficultés devraient essentiellement concerner le merisier, d'autant que la pénurie était déjà récurrente. La situation pourrait également être critique pour le hêtre en fonction de l'ampleur donnée aux programmes de reboisement. Une révision générale du portefeuille des peuplements classés sera en tout état de cause nécessaire avec probablement une urgence plus forte pour certaines provenances de chêne sessile. Il ne devrait donc pas être indispensable de recourir massivement à l'importation ou à des récoltes en dérogation. Seuls les rares cas cités ci-dessus devront faire l'objet d'un examen particulier. La multiplication végétative en vrac de lots de semis (« bulk ») peut également constituer une méthode valable dans le cas de pénurie pour certaines provenances.

Compte tenu de l'ampleur des reconstitutions, il sera par ailleurs nécessaire d'être particulièrement vigilant sur le respect des préconisations en termes de choix de provenance et de catégorie du matériel végétal. Sauf exception citées ci-dessus, la tempête ne présente pas de caractère justifiant une dérogation à ces règles. Il serait néanmoins judicieux de saisir cette opportunité pour renouveler l'effort de vulgarisation en termes de qualité génétique et extérieure du matériel végétal forestier.

Dans le cas particulier des résineux, il peut être opportun d'utiliser des plants traités contre l'hylobe pour des plantations réalisées après chablis sur d'anciens peuplements résineux, sur lesquels une pullulation a été observée.

Méthodes utilisant la dynamique naturelle

L'étendue des surfaces concernées par une reconstitution partielle ou totale va nécessairement induire un recours à des méthodes peu intensives, y compris dans des contextes où le recours à la plantation en plein était habituel. Une méthode intéressante à plusieurs points de vue, lorsqu'elle est possible, est d'initier une régénération naturelle complétée par un enrichissement, si nécessaire. Cette méthode est plus économique dans un premier temps, puisqu'elle limite les travaux de plantations (au sens strict). Par ailleurs, la régénération naturelle est généralement moins vulnérable à la dent du gibier, lequel peut de surcroît concentrer ses attaques sur la végétation associée. Les plants utilisés en complément, étant donné leur faible nombre, peuvent d'ailleurs être plus hauts et mieux protégés contre le gibier.

Un dernier avantage de ce système est qu'il permet un rajeunissement de l'écosystème forestier, les stades initiaux des séries végétales étant parfois sous-représentés ou « court-circuités » (en cas de plantation) au niveau des massifs. Les catalogues de stations sont un outil indispensable de description des successions végétales prévisibles et des peuplements climaciques.

Il est néanmoins faux de croire que la régénération naturelle résout tous les problèmes, et en particulier qu'elle ne représente aucun coût. Le déblaiement préalable des parcelles reste en général indispensable, et un certain nombre de travaux ultérieurs seront plus onéreux. Par ailleurs, en cas de plantation en enrichissement différée comme de

régénération naturelle, il est conseillé de prévoir dès la première année des cloisonnements culturels pour permettre par la suite le déplacement à l'intérieur de la parcelle et plus particulièrement l'accès aux plants ou aux tiges d'avenir. Le développement d'essences pionnières (saules marsault, bouleau, sorbier des oiseleurs...) peut être mis à profit, pour la reconstitution d'une ambiance forestière, le contrôle de la végétation concurrente basse, et l'éducation des plants. Les pays voisins (Suisse et Allemagne) n'hésitent pas à installer de telles essences d'accompagnement. Toutefois, celles-ci nécessitent d'être maîtrisées, ce qui suppose un suivi assez fin.

Le taillis semble rejeter facilement de souche, y compris après travaux d'exploitations intensifs. S'il correspond à l'essence-objectif, il est alors possible d'utiliser les rejets et de procéder à des opérations de « balivage » (affranchissement). Sinon, il peut être utilisé en accompagnement de même que la végétation pionnière spontanée.

Rappelons pour terminer que le recours à ces méthodes passe par un diagnostic, et que, si le devenir des parcelles en l'absence de plantation est encore mal élucidés, il convient de minimiser les dégâts occasionnés au sol au cours de l'exploitation et de s'assurer de la présence préalable et si possible actuelle de semenciers en nombre suffisant. Le risque d'échec n'est en tout cas pas négligeable notamment faute de soins culturels appropriés et doit bien être pris en compte dans toute éventuelle politique d'aides publiques.

Se préparer à la prochaine tempête

Adapter l'appareil institutionnel pour un suivi et une réaction à l'événement plus efficaces

Le manque de données apparaît comme un facteur limitant dans bien des cas la possibilité de tirer des conclusions claires, qu'il s'agisse des circonstances favorables ou aggravantes, ou de l'efficacité des mesures à mettre en œuvre. L'impossibilité de conclure sur la stabilité comparée des futaies régulières et irrégulières est un bon exemple. Il serait bon, dans un premier temps, de faire l'inventaire des besoins d'informations réels après la tempête, en dissociant court et moyen terme. Par la suite, la mise en place d'un observatoire réalisant une évaluation des dégâts, examinant les conditions d'apparitions et organisant le suivi des mesures pourrait palier ce manque. La rareté du phénomène et l'intérêt de couvrir un maximum de situations font penser que cet observatoire pourrait être européen. Cela susciterait un effort utile, sinon d'harmonisation des mesures et des protocoles, du moins d'extrapolation à partir de ces mesures, afin de permettre les comparaisons et leur incorporation dans un même échantillon.

Par ailleurs, une procédure préétablie pour la mise en œuvre des mesures d'urgence en cas de dégâts de tempêtes importants, et le maintien d'un minimum d'infrastructures (par exemple de zones de stockages, capacité de transport par rail) spécifiques à l'exploitation de chablis de grande envergure, doivent être envisagés sérieusement pour se prémunir en partie des conséquences des prochaines tempêtes.

Améliorer la prise en compte du risque

La démarche de la prise en compte du risque ne peut pas s'examiner indépendamment de la définition des objectifs, à laquelle elle est généralement subordonnée. Il ne faut pas oublier ici que la définition d'objectifs, y compris économique, peut conduire à ne pas rechercher la sensibilité minimale (cf. économie comparée des scénarii sylvicoles). Par ailleurs, il faut souligner que ce qui est en cause, c'est principalement un risque économique et non, pour l'essentiel, un problème de sécurité publique. La légitimité de l'action de l'Etat doit bien prendre en compte cette distinction.

Prendre en compte le risque de tempête dans l'aménagement et la gestion forestière conduit à examiner trois niveaux de questions :

- la localisation des enjeux sur le territoire ;
- la prévention au niveau de l'unité de gestion ;
- la couverture du risque économique.

La tempête n'est cependant qu'un des multiples aléas qui peuvent causer des dommages en forêt. Prendre en compte le risque, c'est analyser tous les facteurs naturels (gel, sécheresse, gradations de ravageurs, ...) ou anthropiques (pollutions, effondrement du marché, ...) qui peuvent altérer la valeur de la production.

La localisation des enjeux

Il est possible d'imaginer une cartographie de l'aléa permettant par exemple de conditionner les aides publiques. On se heurte cependant à un problème d'échelle, la nature du vent étant localement influencé notamment par la topographie et l'exposition. Disons que ce paramètre peut être examiné au niveau de quelques régions particulièrement exposées (par exemple par les CRPF consultés pour la validation des PSG), mais que la conditionnalité ne peut s'exercer qu'au niveau de la parcelle, par exemple sur le choix des essences et des techniques de plantation. Par ailleurs, il faut souligner que des facteurs prépondérants de vulnérabilité comme la durée des révolutions, l'âge des éclaircies, ... échappent au processus d'attribution des aides publiques. L'ensemble de ces facteurs conduit à déconseiller la mise en place d'une cartographie du risque tempête, intégrant par définition aléa, sensibilité et enjeux.

Malgré cela, il paraît raisonnable de rechercher une meilleure répartition spatiale des risques. Cette démarche est une mesure d'aménagement conduisant à structurer l'espace de manière à obtenir une répartition acceptable des zones à faible et à forte vulnérabilité.

La prévention au niveau de l'unité de gestion

Cet aspect est majeur. Il renvoie à trois questions développées par ailleurs dans ce rapport : le choix d'un objectif adapté au degré d'exposition de la station ; l'adoption de techniques sylvicoles peu vulnérables (confère partie 1) ; un raisonnement économique de l'investissement intégrant tous les risques.

La couverture du risque économique

Classiquement, la couverture est assurée, soit par l'individu lui-même, soit par la solidarité nationale, soit par mutualisation entre les personnes exposées au même risque (régime des assurances).

Il existe en Europe des différences culturelles importantes entre pays à l'égard du partage des risques imputables aux catastrophes naturelles. Dans des pays comme la Norvège ou l'Allemagne, cette couverture est intégralement du ressort du secteur privé. Par ailleurs, pour certains risques, l'assurance peut être obligatoire : subsidence en Grande-Bretagne. La France est un des pays où l'Etat intervient assez fortement, parfois en termes d'indemnisation, plus souvent en termes d'aide à la reconstitution (cas de la forêt).

En France, peu de forêts sont assurées (□ 5 %) et encore cette assurance n'est-elle qu'une extension de la garantie incendie. Cette situation est imputable à une multitude de raisons parmi lesquelles il faut citer une méconnaissance de ce risque, une habitude culturelle de recours à l'Etat face aux catastrophes naturelles, le fait que la forêt soit rarement un élément prépondérant du revenu des ménages, au manque d'intérêt des compagnies d'assurance pour ce risque, à des effets en chaîne (peu d'assurés, donc tarifs élevés, donc effet dissuasif)...

Par ailleurs, il faut souligner que les assurances connaissent toujours leurs limites face aux phénomènes extrêmes (système de plafonnement des remboursements) et qu'il faut alors un système de garantie d'ordre supérieur (réassurance, fond de garantie, ...).

Pour que le régime des assurances se développe, il faut probablement d'abord ouvrir le débat sur les limites de l'intervention de l'Etat, et la tempête ne peut certainement pas être isolée d'autres catastrophes naturelles. Il serait également envisageable de rendre l'assurance obligatoire, ce qui ne paraît pas souhaitable car la forêt est rarement un enjeu vital pour les ménages. Les deux voies à privilégier seraient ensuite une analyse approfondie de la question avec le secteur des assurances, et une action forte

d'information et de vulgarisation qui accompagne notamment l'attribution des aides publiques.

Enfin, certains experts considèrent que, même si la politique nationale privilégie la multifonctionnalité, le risque ne peut pas être mutualisé entre tous les acteurs concernés par le devenir de la forêt. La tempête constitue avant tout un risque économique pour les investisseurs et la mutualisation ne peut s'envisager qu'entre ceux-ci. Pour d'autres experts, la multifonctionnalité doit s'accompagner d'un partage des risques avec les bénéficiaires. En tout état de cause, un partage plus large du risque avec les collectivités publiques devrait pouvoir être recherché pour les forêts qui représentent des enjeux majeurs (notamment au plan sociétal et environnemental) par le jeu de mécanismes contractuels.

Les auteurs de l'expertise

Le travail d'expertise a été piloté par une **cellule d'animation** composée d'Yves BIROT (INRA), Daniel TERRASSON (*Cemagref*), Thomas FORMERY (IDF), Bernard ROMAN-AMAT (ONF), appuyée pour le **secrétariat technique et la coordination** par Olivier LAROUSSINIE (GIP ECOFOR³) et Sébastien DROUINEAU (GIP ECOFOR).

La **liste des experts** mobilisés sur les différents aspects techniques identifiés est la suivante :

Composition du groupe d'experts	Organisme
ABGRALL, Jean-François	<i>Cemagref</i>
BESSEMOULIN, Pierre	Météo-France
BOUCHER, Christian	ONF
BUREAU, Michel	CNIEFB
DECAMPS, Henri	CNRS
DENIS, Michel	<i>Cemagref</i>
DUCRAY, Pierre	Coopération Forestière Française
FREBY, Guy	ONF
GOLLIER, Christian	Université des Sciences Sociales de Toulouse
HOULLIER, François	INRA / CIRAD
HUBERT, Michel	
LACOUR, Paul-Antoine	AFOCEL
LEFEUVRE, Jean-Claude	MNHN
LEFEVRE, François	INRA
MARTIN, Roland	CETEF / IDF
NOUGAREDE, Olivier	INRA
PETIT, Hubert	AFOCEL
PHELEP, Michèle	DERF
PIGNARD, Gerôme	IFN
RAMEAU, Jean-Claude	ENGREF
RIOU-NIVERT, Philippe	IDF
SCHÜTZ, Jean-Philippe	Institut für Wald und Holzforschung (Zürich)
SPIECKER, Heinrich	Freiburg University
VALIERGUE, Laurent	ONF

Ont également contribué à l'expertise :

Gérard ARMAND (FVFE), Dominique ARROUAYS (INRA), Gilbert AUSSENAC (INRA), Philippe BALANDIER (*Cemagref*), Yves BASTIEN (ENGREF), Jacques BECQUEY (IDF), Laurent BERGES (*Cemagref*), Jean BOUCHON (INRA), Bruno BOULET-GERCOURT (IDF), Nathalie BREDA (INRA), Yves BRUNET (INRA), François CHARNET (IDF), Loïc CREMIERE (AFOCEL), Thomas CURT (*Cemagref*), Claude DELATOUR (INRA), Jean-François DHOTE (INRA), Daniel DOLL (Université), Christophe DRENOU (IDF), Jean-Luc DUPOUEY (INRA), Valérie FIERS (Réserves Nat), Thierry FOURCAUD (INRA), Henri FROCHOT (INRA), Jean GARBAYE (INRA), Christian GAUBERVILLE (IDF), Christian GINISTY (*Cemagref*), Sabine GIRARD (IDF), Marc GIZARD (SYSSO), Marion GOSSELIN (*Cemagref*), Bernard HEOIS (*Cemagref*), Bernard JABIOL (ENGREF), Hervé JACTEL (INRA), François KLEIN (ONC), Guy LANDMANN (MAP), Jean-Paul LANLY (MAP), François LEFEVRE (INRA), Brigitte LUNG (INRA), Dominique MERZEAU (IDF), Daniel MICHAUD (AFOCEL), Dominique NORMANDIN (ENGREF), Eric PAILLASSA (IDF), Olivier PICARD (IDF), Dominique PIOUS (ENGREF), Eric RIGOLOT (INRA), Christian SCHWOEHRER (Réserves Naturelles de France), Eric SEVRIN (IDF), Pierre TRICHET (INRA), Philippe VAN LERBERGHE (IDF), Michel VALLANCE (ONF)

³ Groupement d'Intérêt Public ECOFOR, 19 avenue du Maine, 75 732 PARIS Cedex 15, tél 01 45 49 88 37, fax 01 45 49 88 39, mél gipecofor@engref.fr

Avec le soutien du :

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
– Direction de l'Espace Rural et de la Forêt –

