

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**

À PROPOS DE LA STABILITÉ DES PESSIÈRES

PASCAL BALLEUX

Suite à l'augmentation de la fréquence des tempêtes constatée ces 30 dernières années par rapport aux décennies précédentes, deux interrogations principales sont soulevées : quels sont les facteurs de vulnérabilité des arbres au vent et peut-on limiter les risques liés aux chablis ?



Les vents violents et turbulents sont responsables de bris et de déracinements, parfois d'accidents catastrophiques, provoquant de nombreux chablis surtout en automne et au printemps quand le sol est fortement détrempé. La chute ou le bris d'un arbre s'explique par l'interaction de deux phénomènes : le vent et la résistance de l'arbre.

Ces deux phénomènes sont issus de la combinaison de facteurs sur lesquels le forestier dispose d'une certaine prise : ainsi, si le vent apparaît comme un phénomène incontrôlable, le forestier peut dans une certaine mesure jouer sur sa vitesse puisque le relief contribue à créer des phénomènes d'accélération ou de ralentissement. Il peut également freiner son impact par la réalisation de lisières adaptées. Mais, c'est surtout dans le domaine de la résistance des arbres que le gestionnaire peut agir : notamment, par un choix judicieux d'essences à enracinement puissant et un traitement dynamique d'éclaircies précoces et fortes, il peut accroître sensiblement la résistance de ses peuplements.

Le gestionnaire dispose donc de certains outils lui permettant de réduire les risques de chablis. Ces outils sont cependant limités par des facteurs biologiques ou physiques : un épicéa ne pourra jamais prétendre à la stabilité d'un chêne ; un ouragan comme Lothar qui a balayé jusqu'à 259 km/h l'Europe les 26 et 27 décembre 1999 et a dévasté surtout les forêts de France et d'Allemagne, dépasse largement les limites physiques de résistance atteignable par les arbres.¹

À PROPOS DU RISQUE

Faut-il, au vu de ce qui précède, limiter la sylviculture aux zones les moins exposées aux vents et aux essences les plus résistantes ? Nous entrons dans le domaine de l'appréciation du risque.

Le facteur « risque » est, aujourd'hui encore, peu pris en compte. Il n'intervient quasiment jamais dans la sélection d'un site, d'une essence ou d'un traitement. Pourtant, selon certains aménagistes forestiers, celui-ci devrait absolument prendre une place de plus en plus importante au cours du temps : les changements climatiques pourraient, en effet, mener à la multiplication et l'intensification des événements venteux exceptionnels.

Face à ces prévisions préoccupantes, les forestiers devraient prendre des mesures de lutte préventive plus ou moins importantes, ceci selon le degré de risque attendu ou suspecté. Ainsi, en ce qui concerne les reboisements, différentes mesures sont envisageables, de la densité de plantation à la mise en place d'écrans brise-vent, voire le rejet pur et simple de certaines essences !

On entend fréquemment que, face à des événements comme les tempêtes de 1999 en France, aucun arbre ne peut résister : sous-entendu, quels que soient l'essence ou le traitement, la fatalité fait loi. C'est peut-être oublier les nombreux autres événements, moins extrêmes, qui émailleront la vie d'un arbre et qui pourront, cette fois, être plus ou moins contrôlés par l'action du forestier.

L'ÉPICÉA ET LES TEMPÊTES

Dans le contexte évoqué ci-dessus, l'épicéa se révèle un problème délicat. Il représente quelque 172 000 hectares de forêts en Région wallonne et fait l'objet, chaque année, d'un ou deux milliers d'hectares de régénération. Pour de nombreuses raisons, tant économiques que « culturelles », il est donc une essence de prédilection pour les forestiers wallons... alors qu'il est réputé comme une des essences les moins stables.

Il ne nous appartient pas de trancher ici la question de savoir si le jeu en vaut la chandelle et si le caractère presque intrinsèquement instable de l'épicéa s'accorde avec les scénarios climatiques qui ont cours aujourd'hui. La question de l'augmentation de fréquence et de puissance des tempêtes n'est pas encore claire et celles-ci ne seront peut-être pas plus catastrophiques à l'avenir. Inversement, elles seront peut-être d'une puissance telle qu'aucune essence ne leur résistera... La question reste ouverte.

Cependant, l'absence de réponse ferme et définitive ne doit pas nous priver de la possibilité de prendre quelques précautions pour réduire autant que faire se

peut, les risques de chablis. Ainsi, certaines mesures, simples, peu coûteuses, voire économiquement intéressantes, peuvent contribuer à améliorer la stabilité potentielle de nos peuplements d'épicéa.

Après avoir passé en revue les facteurs physiques et biologiques susceptibles d'influencer la stabilité des arbres, nous aborderons les mesures sylvicoles permettant de diminuer les risques de chablis.

FACTEURS PHYSIQUES ET DÉGÂTS

Les facteurs physiques jouant sur le taux de dégâts sont essentiellement le vent, la topographie et le sol.

Le vent

L'incidence du vent sur la végétation dépend essentiellement de sa forme, sa direction, sa vitesse et sa durée.

En Région wallonne, l'orientation des tempêtes est traditionnellement Sud-Ouest, ce qui n'exclut pas des tempêtes atypiques. Les grands dégâts forestiers débutent à des vitesses du vent dépassant 90 km/h ; bien peu de peuplements résistent à 140-150 km/h.

Les vents les plus violents sont généralement enregistrés en novembre-décembre et en février-mars. À ce moment, les feuillus sont défeuillés et présentent moins de prise au vent ; par contre, les résineux, y compris l'épicéa au feuillage persistant et au houppier d'un couvert plus dense, sont fatalement plus sensibles.

Plusieurs facteurs aggravants peuvent interférer, comme la glace, le givre ou une accumulation de neige. Il s'ensuit des bris

de cime (volis) renforcés du fait de la surcharge.

Enfin, les tempêtes précédées d'une période pluvieuse sont généralement plus dommageables. Gorgés d'eau, les sols assurent un ancrage des arbres moins efficace.

Pour mémoire, signalons l'existence des tornades qui se manifestent par des tourbillons très violents. Elles sont rares et très localisées dans notre région. Limitées dans le temps et l'espace, elles sont observées principalement entre mai et septembre.

La topographie

La topographie agit directement sur le vent : les versants exposés aux vents dominants voient leurs impacts s'amplifier tandis que les versants opposés, situés en arrière des lignes de crête, sont des zones plus calmes bénéficiant du ralentissement des vents. Cependant l'influence de la topographie est complexe avec des couloirs de vent, des rebonds du vent d'une crête à l'autre, des tourbillons affectant plus les versants « sous le vent » que les versants « au vent ».

À une échelle plus grande, l'environnement immédiat du peuplement semble un facteur essentiel. Ainsi, une parcelle protégée par un peuplement plus haut sera moins exposée qu'une autre dont les cimes le dépassent ou qui affronte le vent en première ligne ; les dégâts les plus importants sont observés dans des peuplements précédés d'une zone dégagée : terre agricole, friche, clairière, vide d'anciens chablis ; enfin, des peuplements subitement exposés aux vents suite à une coupe rase d'une parcelle voisine sont très sensibles aux chablis.

Le sol

Les conditions édaphiques sont déterminantes pour la résistance des épicéas adultes au basculement :

- une bonne fertilité implique un fort accroissement en hauteur³ mais aussi des défauts de conformation plus nombreux (fourches, grosses branches) ; la concurrence avec les voisins de la même espèce ou non, modifie la forme du tronc ;
- la profondeur prospectable, pouvant être limitée par un horizon impénétrable (roche, plancher d'argile, horizon textural, nappe temporaire ou permanente...), semble le critère le plus important.

En particulier, il est important de mettre en évidence les facteurs qui peuvent entraver la pénétration racinaire des plants forestiers : un obstacle continu et résistant (dalle rocheuse, lit de cailloux), une couche de terre à structure déficiente ou instable (couche d'argile imperméable à faible profondeur, semelle de labour, sol battant à limons et sables très fins ou insuffisamment pourvu en argile et en humus), un excès d'humidité temporaire ou permanent (nappe d'eau sur couche imperméable peu profonde ou couches superficielles de sol

peu perméables, à savoir sols à gley ou pseudo-gley)...

FACTEURS BIOLOGIQUES DE STABILITÉ DES PESSIÈRES

L'essence

Les caractéristiques propres à l'essence vont lui conférer un potentiel plus ou moins important de résistance au vent : son feuillage, caduc ou persistant, son type d'enraci-



Le système racinaire de l'épicéa prédispose cette essence au chablis.

© fw

nement, la forme de la tige et l'architecture du houppier sont déterminants.

Le classement des résineux par sensibilité croissante au vent serait : mélèzes, douglas, épicéa de Sitka, sapins, pin sylvestre et épicéa commun. Le hêtre se situerait au niveau du douglas et le chêne à celui du mélèze.¹⁻²

Type d'enracinement

L'architecture du système racinaire de l'épicéa adulte se compose, en surface, d'une seule génération de longues charpentières sans fourches ; en profondeur, il ne développe que des racines verticales, changeant de direction en cas d'obstacle, mais qui reviennent à la verticale dès la disparition des contraintes. Il se déracine donc plus facilement, souvent avec un soulèvement total de la plaque racinaire hors du sol.

Chaque épicéa exprime son architecture en fonction de sa physiologie (origine génétique, âge), des techniques culturales (mode de plantation, densité) (figure 1) et des paramètres liés au sol (hauteur de la nappe phréatique, contraintes mécaniques, pente...) : la profondeur des pivots

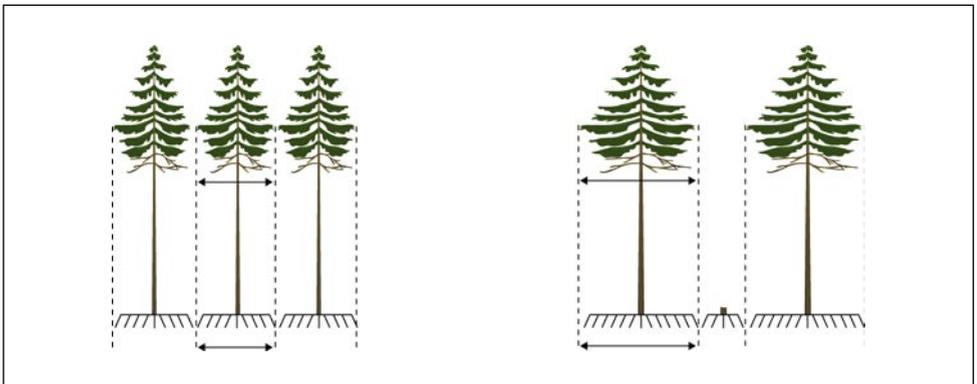
secondaires d'un épicéa peut varier de 35 cm sur pseudogley, à 1,30 mètre sur un sol brun podzolique.⁴

Sur sol non contraignant et pour des arbres de hauteur égale, des essais de traction ont mis en évidence la très bonne résistance du hêtre, puis du chêne mais une résistance médiocre de l'épicéa. Les dégâts étaient répartis comme suit : cassure au niveau du tronc pour le hêtre et le chêne, rupture au niveau du collet pour le douglas, déracinement pour l'épicéa.⁴

Des coupes longitudinales du système racinaire permettent de constater que les racines placées du côté des vents dominants (« au vent ») sont particulièrement nombreuses et ramifiées tandis que les racines opposées (« sous le vent ») sont épaisses et clairsemées. Les racines du côté des vents dominants constituent 60 % de l'ancrage de l'arbre et un meilleur développement à cet endroit aidera l'arbre à mieux résister au renversement.⁵

Le renversement d'un arbre a lieu lorsque les forces appliquées par le vent sur la partie aérienne dépassent la capacité de résis-

Figure 1 – Un des facteurs de développement de l'architecture racinaire de l'épicéa est l'espacement laissé aux houppiers : plus il est élevé, plus les racines s'étendent horizontalement.



tance du complexe sol-racines, sans pour autant briser la tige. Des espèces à système traçant seront plus susceptibles de se déraciner que des espèces à système plongeant. Par contre, des arbres bien ancrés tels les jeunes individus (qui possèdent un pivot plus profond que celui des adultes par rapport à leur taille) seront plus sensibles à la casse. Dès la plantation, il convient donc de favoriser des enracinements solides et bien ancrés au sol.⁶

La Grande-Bretagne pratique une sylviculture essentiellement basée sur l'épicéa de Sitka, installé sur des sols pauvres et peu profonds. De plus, cette île est fortement exposée au vent, d'où de très importantes pertes économiques dues aux chablis. Par conséquent, la Forestry Commission a mis au point des parcelles d'entretien sylvicole favorisant l'ancrage racinaire, améliorant ainsi la stabilité de l'arbre⁷ : sous-solage en

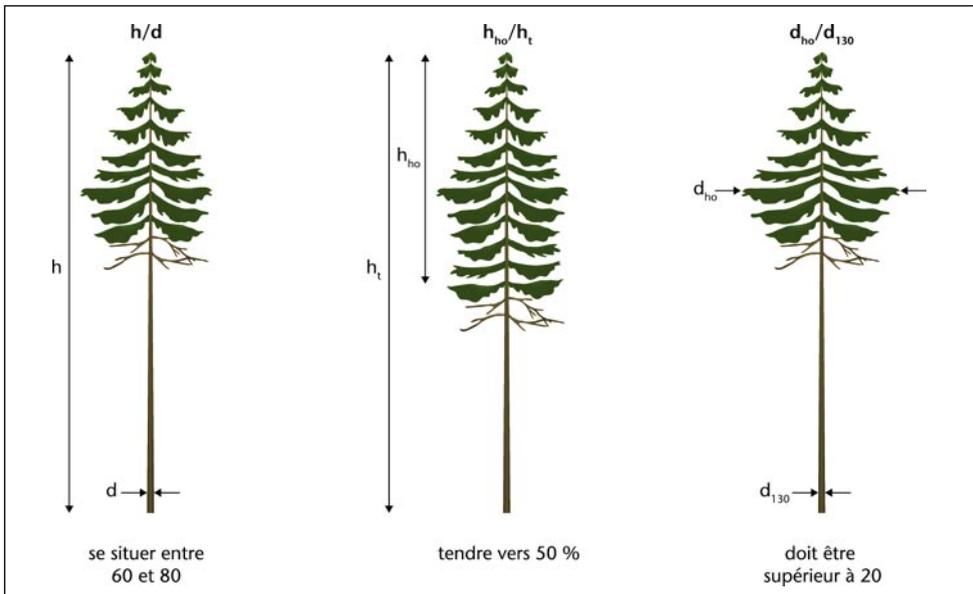
présence d'horizons imperméables ou impénétrables par les racines, travail du sol en profondeur en ligne ou localisé pour ameublir le substrat, dégagements surtout contre les graminées au pied des arbres.

Ensuite, une sylviculture dynamique permet d'améliorer l'ancrage racinaire de l'épicéa. Comme l'extension verticale de son système racinaire est faible ou limitée par des obstacles, on ne peut espérer améliorer sa stabilité que par le développement latéral de plus longues charpentières horizontales munies de pivots secondaires plus nombreux. Seules l'augmentation de l'espace entre les arbres et des éclaircies fortes stimulent ce développement racinaire périphérique.

La forme de la tige

La forme de la tige (figure 2), plus ou moins trapue et largement sous la dépen-

Figure 2 – Les différents rapports caractérisant la conformation de l'arbre permettent également d'estimer le risque de chablis.



dance de son environnement immédiat, joue sur la hauteur du centre de gravité de l'arbre et donc sur son équilibre.

L'influence de la hauteur sur le taux des dégâts est très importante : à partir de 30 mètres, le risque devient très élevé. Le diamètre est un critère moins fiable. Il augmente avec la hauteur mais pas au même rythme, et dépend surtout de la concurrence exercée par les arbres voisins.

Finalement, le facteur d'élanement (hauteur totale/diamètre à 1,30 mètre ou h/d) appliqué à un arbre ou à l'arbre moyen d'un peuplement rend mieux compte de la forme du tronc et donc de la stabilité⁸ : il oscille en général entre 50 (arbre isolé) et 100 (arbre en peuplement serré). Mais il ne suffit pas non plus à lui tout seul : un h/d de 75 peut signifier une bonne stabilité pour un arbre de 15 mètres de haut

mais pas de 30 mètres ! Ainsi les plus hauts arbres du monde, dépassant 100 mètres de haut (séquoia géant ou douglas), ont-ils des h/d de 15 à 25 !

Architecture du houppier

L'architecture du houppier conditionne la « prise de vent », la position du centre de gravité, le risque de bris de branches (rupture des fourches) et la possibilité de déchargement de la neige.

Le pourcentage de houppier (h_{no}/h_t), bien corrélé à l'historique de la concurrence subie par l'arbre, est également un bon critère de stabilité, plus utilisé pour les feuillus que sur les résineux : pensons, par exemple, aux arbres de taillis-sous-futaie à large houppier et de hauteur totale faible ou aux arbres de futaie dense à faible houppier et forte hauteur totale. Plus h_{no}/h_t est proche de 50, plus l'arbre est équilibré.



La présence de pourriture rouge au sein du tronc augmente le risque de bris en cas de vent violent.



Enfin, un rapport $d_{ho}/d_{1,30}$ (diamètre du houppier/diamètre du tronc à 1,30 mètre) supérieur à 20 est également un bon signe d'équilibre (figure 2).

L'état sanitaire des arbres

Tout arbre affaibli résiste moins bien aux agressions extérieures. Plusieurs pathologies peuvent augmenter la sensibilité de l'épicéa aux chablis : blessures d'exploitation, écorçage par le cerf, pourriture rouge...

Blessures d'exploitation

D'une part, des dégâts de frottis sont provoqués par les grumes débardées à la base du tronc des arbres restant sur pied, les dégâts d'exploitation pouvant aussi provenir de l'utilisation d'engins trop encombrants. D'autre part, des dégâts au sol sont aussi observés : compactage, tassement de racines, scalpage, ornierage, nappes d'eau superficielles... Tous ces dégâts altèrent

la croissance et la résistance mécanique des arbres : leur sensibilité au chablis augmente.

Dégâts de gibier

Parmi les dégâts de gibier qui risquent d'altérer la qualité mécanique de la base des bois, l'écorçage des troncs par le cerf est le plus dommageable : des pourritures rouges de cœur sont généralement constatées à la base des arbres écorcés, et en cas de tempête, ce facteur aggravant explique la cassure de nombreux arbres à leur base.

Maladies et parasites

Les plantations d'épicéa implantées à trop basse altitude et celles installées sur des sols de type « argile blanche » ou dans des expositions chaudes comportent des risques non négligeables en termes d'état sanitaire (arbres affaiblis plus vite atteints de pourriture rouge ou attaqués par des scolytes) et par conséquent de stabilité au

L'écorcement des troncs par les cervidés est une cause d'apparition de pourriture rouge.



vent (chablis plus fréquents). Sur ces stations, l'épicéa est appelé à disparaître.

Les phénomènes d'adaptation

La sensibilité des arbres aux vents violents est également influencée par son environnement et son éducation : entre des arbres isolés ou maintenus dans un peuplement dense et des arbres de lisière, les réactions peuvent être contrastées.

Arbres isolés ou peuplements denses

Indépendamment de ses dimensions, la réaction d'un arbre est très différente s'il est isolé ou en peuplement dense. Dans le premier cas, sa stabilité dépend de ses propres caractéristiques, notamment son enracinement et la forme de sa partie aérienne. Dans le second, il peut compter aussi sur ses voisins qui vont limiter son balancement et dissiper une partie de l'énergie du vent par les chocs entre les branches : c'est « l'effet bloc ».

Par ailleurs, un arbre éduqué en peuplement dense, aura un faible diamètre, un facteur d'élancement h/d élevé, un pourcentage de houppier (h_{ho}/h_t) faible, et donc une déplorable stabilité individuelle ; par conséquent, il sera particulièrement exposé lors de la disparition de ses voisins proches.

Arbres de lisière

Les adaptations racinaires expliquent notamment la résistance toujours excellente des lisières. Le système racinaire dissymétrique des arbres de bordure est beaucoup plus développé du côté des vents dominants : les racines fabriquent du bois de tension du côté exposé au vent pour mieux résister à la traction, et du bois de compression du côté opposé pour résister à la flexion.

Les tempêtes de directions inhabituelles prenant les arbres au dépourvu, sont en

conséquence très dévastatrices. De même, les coupes rases, exposant brutalement les peuplements voisins en créant de « fausses lisières » non préparées au vent, sont également génératrices de gros dégâts.

Il existe donc des facteurs plus ou moins défavorables qui prédisposent les arbres et les peuplements aux risques de chablis. Les facteurs les plus défavorables fréquemment observés sur le terrain, et en particulier pour l'épicéa, sont :

- l'enracinement trop peu développé en profondeur et en surface : les sols engorgés et les nappes d'eau perchées constituent fréquemment un facteur limitant majeur, d'autant plus que le drainage est de plus en plus évité, car trop coûteux et déconseillé pour des raisons environnementales et d'intérêt public ; de plus, les peuplements trop denses ne favorisent pas l'ancrage des épicéas au sol, l'extension de leurs racines charpentières étant limitée ;
- la densité trop élevée des jeunes peuplements à la phase de la formation du fût : les arbres hauts proportionnellement à leur grosseur (h/d élevé) présentent alors une cime vivante réduite et un tronc élancé et fragile ;
- au stade adulte et du grossissement, l'espacement trop faible entre les arbres⁹ : celui-ci les rend « grêles » avec un élanement h/d trop élevé, signe d'une sensibilité importante au chablis ;
- l'existence de lisières trop imperméables ou instables : d'une part, des bordures d'arbres trop serrés et non élagués opposant une résistance brutale aux vents qui surmontent le peuplement et qui, par des effets de tourbillons, provoquent des dégâts de chablis à l'arrière des lisières ; d'autre part, des lisières de pessières exposées brutalement au vent suite à

une coupe rase voisine, ces fausses lisières étant quasiment toujours instables.

MESURES SYLVICOLES PRÉVENTIVES CONTRE LES CHABLIS

Face aux risques de chablis¹⁰, le sylviculteur peut notamment appliquer pour l'épicéa commun des mesures préventives de lutte assimilées à une sylviculture optimale des pessières.

Amélioration de l'enracinement des arbres

Chez l'épicéa, comme le pivot s'oblitére rapidement et que les racines principales s'étendent horizontalement à faible profondeur, il est recommandé de garantir des plantations de qualité dans des stations où les caractéristiques du sol sont optimales¹¹ : ainsi, on privilégiera les sols filtrants, légers et frais et exclura les sols lourds, compacts et asphyxiants.

Si le besoin s'en fait sentir, on remédiera aux horizons tassés des terres agricoles (semelle de labour, piétinement du bétail) par un sous-solage préalable des lignes de plantation. Les premières années, des dégagements éliminant en priorité les repousses d'herbacées et de fougères participeront au bon développement racinaire et à la bonne stabilité des jeunes plants.

De même, une sylviculture dynamique favorisera la stabilité des épicéas par extension latérale des racines charpentières. Enfin, toute exploitation de produits d'éclaircies se fera dans une préoccupation constante de préservation des sols contre les phénomènes de compactage. En effet, ceux-ci aboutissent à une diminution du développement racinaire.

Stabilisation des lisières exposées aux vents dangereux

Les lisières exposées aux vents dominants pourront être aménagées de façon à augmenter la stabilité du peuplement. Trois options sont envisageables, lesquelles visent à amortir l'impact du vent plutôt qu'à s'opposer à lui de manière frontale. Il s'agit dans les trois cas de créer des lisières perméables et stables pour la protection des peuplements situés en arrière (voir figure 3) :

- installation d'un déflecteur par plantation d'arbustes et de feuillus à croissance lente et à bon enracinement ;
- écimage progressif des arbres de lisière pour dévier le choc du vent ;
- élagage important des arbres de lisière pour amortir l'impact et faire pénétrer le vent.

Augmentation de la stabilité des peuplements

En-dehors des critères climatiques et stationnels, la croissance et la stabilité des peuplements dépendent aussi de la dynamique du traitement sylvicole appliqué : pour une classe de fertilité donnée, plus les épicéas disposent d'espace pour le développement de leur cime, plus la croissance secondaire en diamètre du tronc augmente, plus le profil trapu des arbres est favorable pour résister à de violentes tempêtes. Par le choix de la densité initiale de boisement, par l'application de dépressages et d'éclaircies précoces et progressives, le sylviculteur peut sensiblement conserver ou améliorer les conditions de résistance des peuplements au vent.

On veillera à appliquer des premières éclaircies précoces et fortes, pour permettre un bon développement des cimes des arbres et diminuer le facteur d'élancement

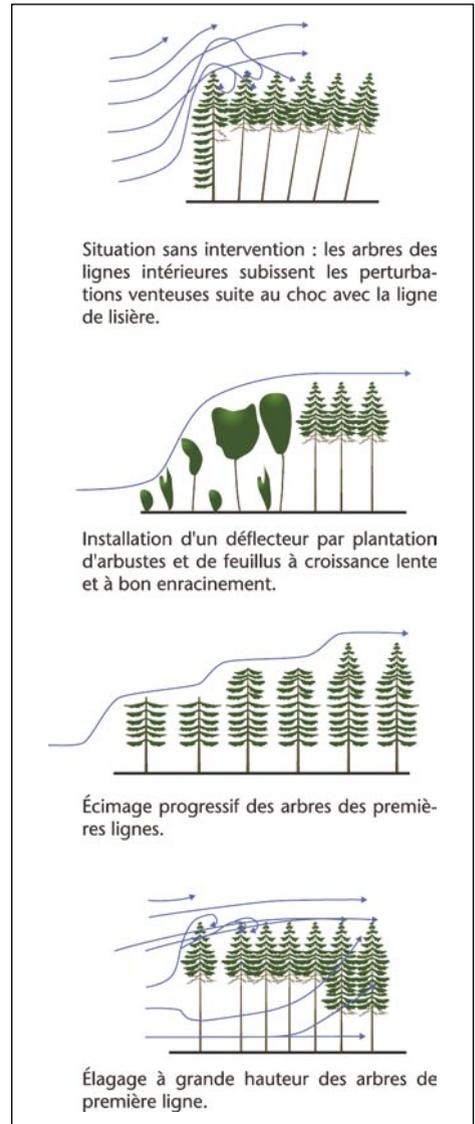


Figure 3 – Création de lisières perméables et stables.

des arbres restant sur pied (tendre vers h/d de 60 à 80)¹² :

- dans les peuplements peu stables (h/d de 80 à 100), on évitera les éclaircies pour ne pas perdre la résistance au vent par « effet bloc » ; s'il faut intervenir,

on préférera la fin de la période hivernale (risque de tempête moins fréquent au printemps) pour permettre au peuplement d'avoir une année de croissance légèrement stabilisatrice avant le risque de retour automnal de vents violents ;

- dans les peuplements instables ($h/d > 100$), il est fortement déconseillé d'éclaircir, le risque de chablis étant quasi prévisible. Il y a lieu d'envisager l'opportunité d'une coupe rase prématurée malgré le sacrifice d'exploitation qui en découle.

Préservation du sol et des arbres

Pour limiter la dégradation physique et biologique du sol dans les pessières et diminuer les blessures aux arbres restant sur pied lors des coupes d'éclaircie, il est vivement conseillé de prévoir des réseaux de layons d'exploitation pour faciliter l'accès des engins à toute la surface des peuplements, particulièrement dès la première éclaircie.

Coupes rases et trouées à l'encontre des vents dominants

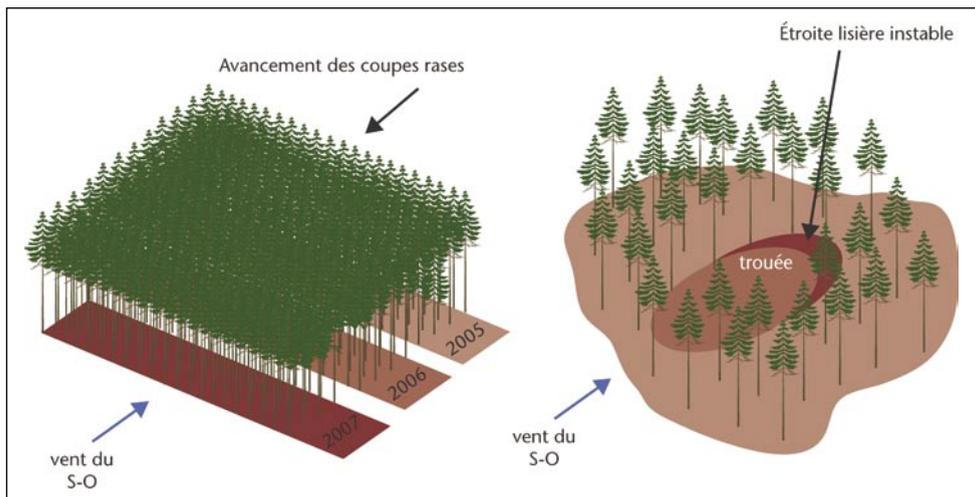
Lors des exploitations, on veillera à ne pas exposer aux vents dominants des arbres ayant grandi toute leur vie en massif (figure 4) :

- la progression des coupes et des reboisements se fera à l'encontre des vents dominants, du Nord-Est vers le Sud-Ouest ;
- les trouées de régénération seront de forme elliptique et orientées du Sud-Ouest vers le Nord-Est pour limiter au maximum la lisière Nord-Est exposée aux risques de chablis.

CONCLUSIONS

Si les dégâts de tempête sont de plus en plus fréquents, les causes et les parades sont de mieux en mieux connues. Il reste au sylviculteur à intégrer ces dernières dans sa gestion, de même qu'il doit intégrer parallèlement les aspects de biodiversité ou de paysage.

Figure 4 – Orientation des coupes rases et trouées par rapport aux vents dominants.



Le but n'est bien sûr pas d'éviter les tempêtes mais d'en réduire si possible les effets.

La stabilisation des peuplements face aux vents débute donc dès la plantation (bon enracinement des jeunes plants), se prolonge dans le jeune âge (dégagements et dépressages adéquats) et se poursuit lors des premières éclaircies (développement des cimes et croissance secondaire favorisés). ■

REMERCIEMENTS

Cet article est issu d'une étude menée grâce au financement de la Région wallonne via l'action 2.3.2 de l'Accord cadre de recherche et vulgarisation forestières : « Itinéraires sylvicoles - éclaircies de rattrapage en pessières équiennes : revue bibliographique, bilan régional et perspectives ».

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ RIOU-NIVERT P., HERVE J.-C., BELOUARD T., RENAUD J.-P., PAILLASSA E., ROSA J., PITON B., MATHEVAT A. [2005]. *Évaluation des facteurs de résistance au vent à l'aide des données de l'IFN. – Application aux diagnostics de stabilité régionaux*. Rapport final d'étude, 58 p.
- ² SHÜTZ J.-P. [1990]. *Sylviculture I – Principes d'éducation des forêts*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 243 p.
- ³ RONDEUX J., THILL A. [1989]. L'estimation de la productivité des peuplements d'épicéa commun (*Picea abies* KARST.) en Ardenne. *Silva Belgica* **96**(3) : 7-15.
- ⁴ DRÉNOU C. [2003]. Typologie et variations de l'enracinement des arbres adultes. *Forêt-entreprise* **153** : 27-33.

- ⁵ DROUINEAU S., LAROSSINIE O., BIROT Y., TERRASSON D., FORMERY T., ROMAN-AMAT B. [2000]. *Rapport de synthèse. Expertise collective sur les tempêtes, la sensibilité des forêts et sur leur reconstitution*. INRA-ME&S, Dossier de l'environnement de l'INRA n° 20, Paris, pp. 7-26.
- ⁶ STOKES A. [1999]. Strain distribution during anchorage failure in root systems of Maritime pine (*Pinus pinaster* AIT.) at different ages and tree growth response to wind-induced root movement. *Plant and soil* **217** : 17-27.
- ⁷ GARDINER B.A., QUINE C. [2000]. Managements of forests to reduce the risk of wind damage - a review with particular reference to the effects of strong winds. *Forest Ecology and Management* **135** : 261-277.
- ⁸ BECQUEY J. [1986]. Hauteur et facteur d'élanement : un équilibre à respecter. *Forêt-entreprise* **34** : 14-21.
- ⁹ RIOU-NIVERT P. [1984]. Le facteur d'espace : un guide pour les premières éclaircies dans les peuplements résineux. *Forêt-entreprise* **20** : 18-25.
- ¹⁰ BECQUEY J. [1986]. Les chablis : imprévoyance ou fatalité ? *Forêt-entreprise* **34** : 7-48.
- ¹¹ BALLEUX P., VAN LERBERGHE P. [2006] (à paraître). *Guide technique pour les travaux forestiers de qualité*. Ministère de la région wallonne, DGRNE, Fiche technique n° 17, 375 p.
- ¹² BECQUEY J., RIOU-NIVERT P. [1987]. L'existence de « zones de stabilité » des peuplements. Conséquences sur la gestion. *Revue Forestière Française* **4** : 341-347.

PASCAL BALLEUX

cdaf@skynet.be

Centre de Développement
Agroforestier de Chimay

Route de la Fagne, 34
B-6460 Chimay