

Haies et boisements pare-congères : de la théorie à la pratique

Lorsque la neige et le vent s'associent, ils créent des congères qui vont gêner la circulation sur les routes et les chemins de montagne. Pour lutter contre ce problème, l'implantation de haies et de boisements apparaît comme une solution écologique et durable. Quels sont les principes de fonctionnement ? Où et comment planter ces haies pour constituer un barrage efficace à la neige ? Quelles essences choisir et quel entretien cela suppose-t-il ? Cet article fait le point sur les connaissances disponibles afin de répondre aux préoccupations des gestionnaires.

De quoi parle-t-on ?

Poudrière (Canada), chasse-neige élevée ou basse (Europe), transport éolien de la neige (France), autant de noms pour décrire le même phénomène : lorsque le vent est suffisamment violent, il arrache la neige au sol. Cette dernière est alors transportée dans l'air puis disparaît par sublimation ou se dépose lorsque la vitesse du vent redescend en dessous d'un certain seuil. Au début de l'épisode de transport, les particules sont arrachées uniquement par entraînement aérodynamique, c'est-à-dire par la force du vent. La particule éjectée retombe sous l'effet de la gravité. Elle rebondit et éjecte d'autres particules : on parle de saltation*. Lorsque les particules éjectées n'ont pas suffisamment d'énergie pour en éjecter d'autres, on parle alors de reptation*. La vitesse seuil, qui correspond à la vitesse à partir de laquelle les particules sont arrachées, est une notion essentielle. Ces particules pouvant être variables en taille et en poids, on comprend que la vitesse seuil n'est pas constante mais dépend des caractéristiques des particules mobilisées. Ainsi, dans le cas d'une neige légère, fraîche et sans cohésion, des vitesses de vent de 3 à 5 m/s (mesurées à 10 m au-dessus du sol) suffiront à sa reprise. Par contre, dans le cas d'une neige très compacte, des vents violents (de l'ordre de 20 m/s) seront sans effet. Quand les particules sont transportées par les tourbillons de l'air et ne touchent plus le sol, on emploie le terme de diffusion turbulente*. Il existe un état intermédiaire appelé saltation modifiée où les particules qui sont amenées à avoir des impacts fréquents au niveau du sol ont des trajectoires modifiées par les tourbillons de l'écoulement.

Le transport de neige par le vent se manifeste de façon différente selon le relief global. Pour une direction de

vent donnée, le relief est la clé explicative de la répartition de la neige au sol : le vent dégarnit les zones les plus exposées (crêtes, arêtes...) et enneige les plus abritées (combes, ravins...). En France, on distingue ainsi le contexte « haute montagne » et le contexte « plateau ». Dans un contexte haute montagne au relief accidenté, les principaux problèmes rencontrés sont la formation de corniches et de plaques à vent génératrices d'avalanches* et l'ablation de la neige sur les domaines skiables. Dans un contexte « plateau » au relief peu marqué, tel que le Massif Central, le transport de la neige par le vent pose essentiellement deux problèmes affectant la circulation routière : le manque de visibilité et la formation de congères* sur les voies de communications. Cet article traite plus particulièrement ce cas de figure (en France, l'enfouissement des bâtiments reste marginal et c'est surtout la surcharge de la neige sur les toits des structures qui est problématique).

Le principe de formation des congères est le suivant (figure 1) : la neige soufflée se dépose dans les zones de ralentissement d'écoulement du fluide, généralement lié à la topographie locale (présence de muret, route en déblai...).

Si la formation de congères a fait l'objet de nombreuses études par le passé avec des approches croisées par études *in situ*, modélisation physique en soufflerie et modélisation numérique (Naaïm-Bouvet et Naaïm, 2002) et sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement, très peu de données sont disponibles quant à la visibilité. Celle-ci dépend de la quantité de neige transportée qui varie en fonction de la hauteur au-dessus de la couche de neige. À hauteur d'homme et pour des vents forts (> 7 m/s) pour lesquels la perte de visibilité est sensible, on considère empiriquement que $V = AU^{-B}$ (avec V la visibilité

en mètres, U la vitesse du vent en mètres par seconde et A et B des constantes dépendant de la qualité de la neige au sol). Liljequist (1957) a déterminé les valeurs de A et B à partir de données obtenues en Antarctique ($V = 1,126 \cdot 10^8 U^{-4,85}$). Ainsi, les visibilité pour des vents de 15 m/s, 20 m/s et 30 m/s sont respectivement de 220 m, 55 m et 7 m.

Les moyens de lutte contre la formation de congères comportent différentes techniques (curative et préventive) :

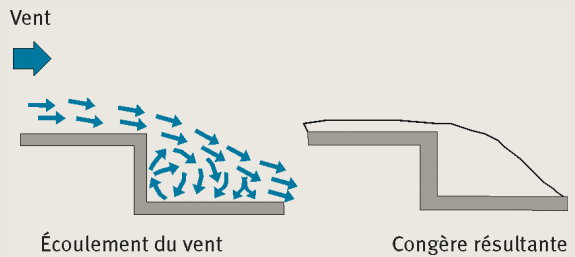
- déneigement avec l'intervention de fraise, à titre curatif, mais qui ne résout pas la formation de congères,
- mise en place de barrières à neige,
- plantation de haies et bandes boisées au vent de la zone à protéger,
- modification du profil en travers de la route ou de la voie de chemin de fer pour la rendre la plus aérodynamique possible afin d'éviter la formation de congères, ou permettre un plus grand stockage de la neige,
- suppression de différents obstacles au vent de la zone à protéger,
- ou encore réalisation d'ouvrages d'art spécifiques (tranchées couvertes, tunnels).

C'est bien cette vision d'ensemble qu'il faut avoir à l'esprit lors du traitement d'une zone soumise à la formation de congères. Néanmoins, cet article ne s'intéressera qu'aux haies et bandes boisées. Un rappel concernant les barrières à neige sera effectué du fait de leur analogie de fonctionnement et de la nécessité parfois de les associer aux plantations en début de plantation. Aucune donnée quantitative concernant l'effet de tel dispositif sur la visibilité n'est disponible, alors que cette question correspond à une demande des gestionnaires. Outre les principes de fonctionnement, les problématiques du choix des espèces, de l'entretien et de la maîtrise foncière seront abordées notamment à travers des études de cas.

Un peu d'histoire

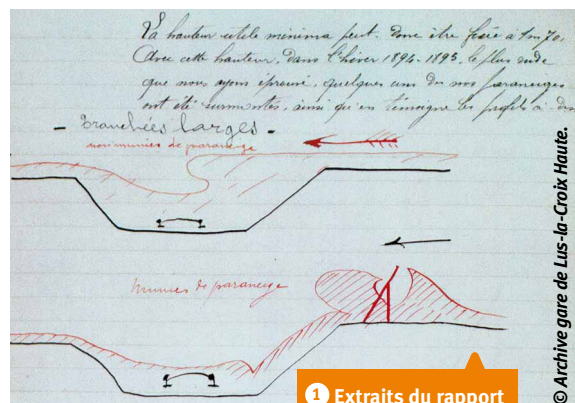
La technologie des protections pare-congères est ancienne. Dans la littérature française, l'article le plus ancien dont nous ayons connaissance a été rédigé en 1864 par Nordling. Il relate une mission en Allemagne où la question du transport de neige s'est imposée avec force dès l'origine des chemins de fer. Les observations de terrain ont permis de tirer les premières règles d'ingénierie (plantation, profils en travers et écrans pare-congères), qui seront notamment repris par Morard en 1896 pour la protection du chemin de fer de Lus-la-Croix-Haute (photo 1 – Archives de la gare de Lus-la-Croix-Haute). Aux États-Unis, les premières études remontent à 1905 à l'instigation de *The Great Northern Railway Company* et se développent jusqu'au milieu des années trente. Il est vrai que la quasi-inexistence d'engins adaptés rend le déneigement laborieux et stimule l'ingéniosité des différents gestionnaires. Pendant la seconde guerre mondiale, et sous l'occupation allemande, des dispositifs pare-congères dont on trouve encore les vestiges sont mis en place sur les endroits stratégiques. Au Col du Lautaret (Hautes-Alpes), au niveau de la Marionnaise, l'armée fait construire sur la moitié de la chaussée un tunnel en bois de 2,5 m de large sur 310 m de long, adossé

1 Principe de formation des congères



au flanc de la montagne, pour le passage d'un véhicule. Une partie de la route du Col a même fait l'objet d'un projet de tunnel (non pas adossé au flanc de la montagne, mais la traversant) dont les travaux ont été interrompus à la Libération. Au Col de La Quillanne (Pyrénées-Orientales), les barrières à neige dont on voit encore quelques traces (photo 2) étaient en fait destinées à protéger l'aérodrome qui jouxte la route.

Puis les premières fraiseuses font leur apparition dans les années cinquante. Le déneigement reste un travail titanique mais il est vraisemblable que le développement de la technique conduit à un ralentissement de la mise en place de moyens de protection. Une enquête que nous avons réalisée en 1991 auprès des subdivisions de l'équi-

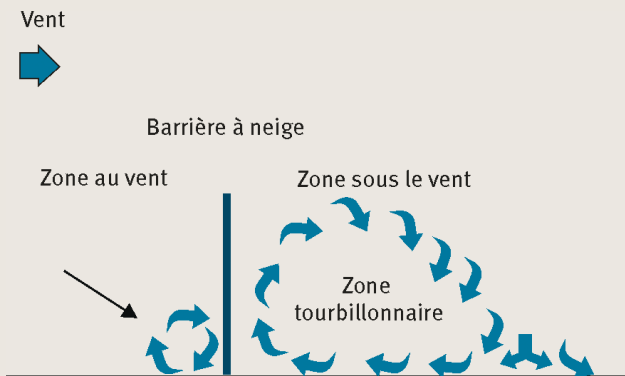


1 Extraits du rapport de M. Morard (source : Archive gare de Lus-la-Croix Haute).

2 Barrières à neige protégeant l'aérodrome du Col de La Quillanne.



2 Zone de sillage au droit d'une barrière à neige



► pement, des directions départementales de l'agriculture et des services de la restauration des terrains en montagne est édifiante. À la question « Quel est le moyen de lutte prioritaire utilisé par votre service dans le cadre de la lutte contre les congères ? », les réponses se répartissent de la façon suivante : engins de déneigement (77 % des réponses), barrières à neige (14 %), boisements (7 %), modification du profil routier (2 %). Cette modification des comportements s'est parfois accompagnée d'une perte de savoir-faire. Les études concernant le transport de neige par le vent ont repris dans les années soixante-dix, notamment à l'instar de la division « Neige et avalanche » du Cemagref. Il s'agissait alors principalement de limiter la formation de congères et de corniches dans les zones de départ d'avalanches, mais depuis les résultats ont largement été appliqués au domaine routier et les recherches lui ont même été spécifiquement dédiées.

Quelques dispositifs de lutte contre la formation des congères

Les barrières à neiges

Leur fonctionnement

Les dispositifs pare-congères les plus largement étudiés ont été sans aucun doute les barrières à neige. Le principe de fonctionnement est le suivant : lorsque le vent arrive au niveau de l'ouvrage, son écoulement est modifié ; il y a formation de zones tourbillonnaires accompagnées d'une réduction de la vitesse moyenne. La neige transportée par le vent se dépose donc dans ces zones de réduction de vitesse situées avant la barrière (on parlera alors de congères au vent) mais surtout après (on parlera alors de congères sous le vent) (figure 2).

Elles ont tout d'abord été étudiées *in situ* lors d'essais comparatifs, puis par modélisation physique et enfin par modélisation numérique, ce qui constitue une démarche logique et classique.

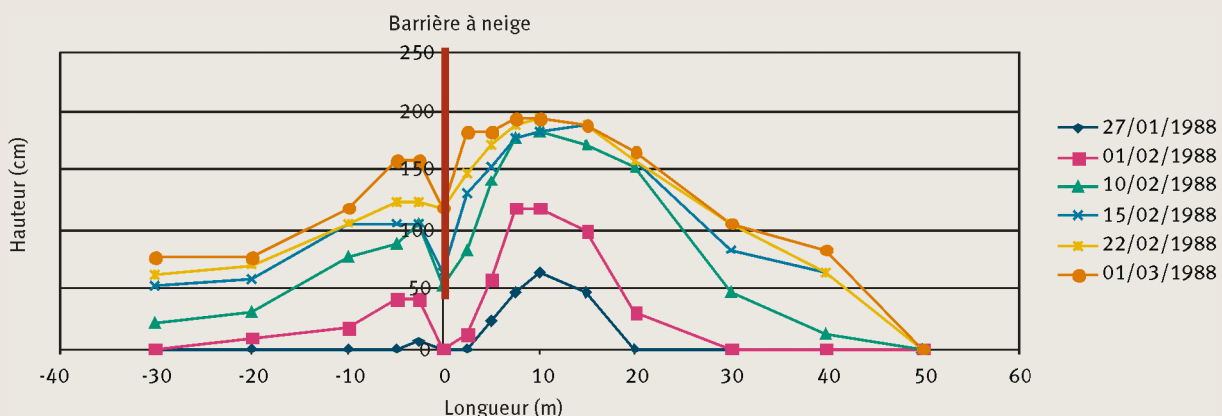
Les essais comparatifs ont été menés entre 1982 et 1988 conjointement par le Cemagref, le CETE* (Centre d'étu-

3 Essais comparatifs à Besse-en-Chandesse.

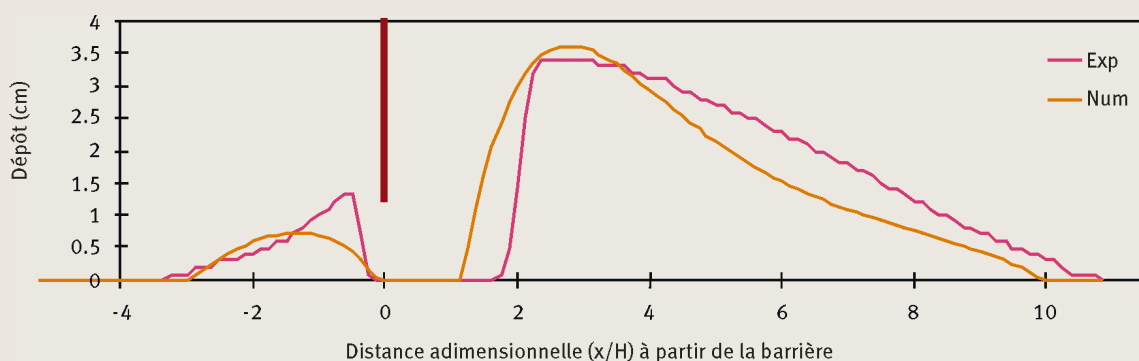


© Cemagref.

3 Évolution d'une congère au droit d'une barrière à neige à Besse-en-Chandesse



4 Comparaison entre les mesures obtenues en soufflerie au droit d'une barrière à neige pleine avec garde au sol et la simulation numérique de la même expérience (H est la hauteur de la barrière)



des techniques de l'équipement) de Lyon et la subdivision de l'équipement de Besse-en-Chandesse ; il s'agissait de tester et comparer différents types de barrières à neige disponibles sur le marché en suivant au cours de l'hiver les congères résultantes (figure 3, photo 3).

À partir des années quatre-vingt dix, le Cemagref a réalisé des essais en soufflerie par modélisation physique. Le principe consiste à reproduire à échelle réduite (typiquement le 1/50) un épisode de transport de neige par le vent (photo 4). Le passage des résultats obtenus sur la maquette à la réalité se fait par l'intermédiaire des critères de similitude, principalement du rapport entre la vitesse de frottement et la vitesse de frottement seuil. Aucun critère de temps permettant de reproduire la durée de la tempête ne s'est avéré pertinent. La soufflerie diphasique du Cemagref n'étant pas climatique, les particules utilisées sont sans cohésion (sable, sciure...). Des essais complémentaires ont donc été menés dans la soufflerie climatique du CSTB* (Centre scientifique et technique du bâtiment) (photo 5) : la veine d'étude est dans ce cas contrôlée en température et les particules sont des particules de neige issues de canons à neige (Naaim-Bouvet et Naaim, 2002) et permet donc par exemple d'étudier le comportement des barrières à neige en pente.

À la fin des années quatre-vingt dix, le comportement des barrières à neige a également été simulé numériquement. Dans ce modèle (Naaim *et al.*, 1998), la couche de saltation est décrite par sa hauteur, sa concentration et deux vitesses de frottement, une pour la phase solide et une pour la phase gazeuse. La couche de suspension est décrite par les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement. Ces équations sont écrites et pour la phase solide et pour la phase gazeuse. L'interaction entre les deux phases est prise en compte par l'intermédiaire de la force de frottement entre les particules et le fluide porteur. La turbulence est modélisée par un modèle de type $k-\epsilon$ dans lequel une réduction de la turbulence avec la concentration en particules est considérée. Les échanges entre les couches de saltation et de diffusion turbulente sont décrits par un modèle d'érosion et de dépôt. Le maillage est adapté à l'évolution temporelle du dépôt de neige. Ce modèle devrait permettre à terme une meilleure estimation des durées de tempêtes, une prise en compte de la thermodynamique et une



4 Modélisation physique du comportement d'une barrière à neige poreuse avec garde au sol sur terrain plat avec du sable dans la soufflerie du Cemagref.

réduction des coûts, les modélisations en soufflerie étant onéreuses et longues à réaliser.

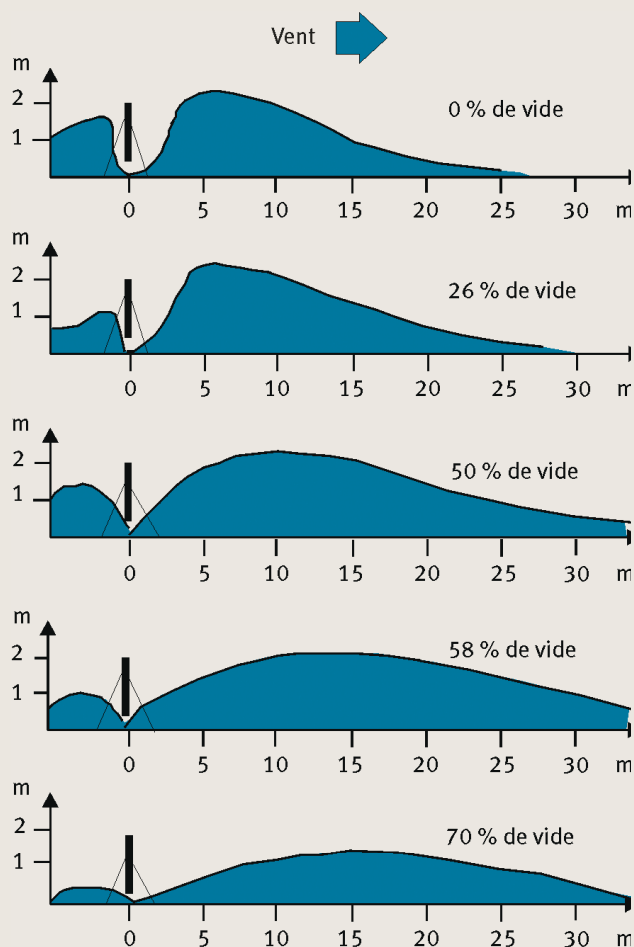
Leurs caractéristiques géométriques et leurs conditions d'implantation

Les principaux résultats sont synthétisés dans la norme française « Barrière à neige » (NF- P95-305) et présentés dans les paragraphes suivants.

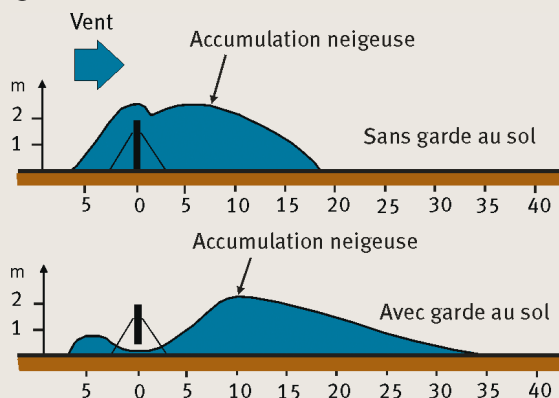
Le tablier d'une barrière à neige (nappe ajourée traversée par le vent dont elle perturbe l'écoulement) se définit principalement par sa hauteur, sa garde au sol et sa porosité. La porosité et la garde au sol sont dites optimales, lorsque, pour une hauteur donnée, la barrière à neige permet d'obtenir un dépôt de neige de volume maximal par mètre linéaire.

Les palissades pleines constituées de planches jointives ont été historiquement les premières barrières à neige ; mais elles sont rapidement enfouies dans le dépôt qu'elles provoquent et le tassement de la neige les détériore. L'augmentation de la porosité de ces barrières rudimentaires a constitué une amélioration notable. La porosité ou indice des vides est le rapport en pourcentage de la surface des vides sur la surface totale. Un mur opaque aura donc une porosité de 0 %. L'indice des vides a une influence directe sur la forme des congères générées par

5 Forme de la congère en fonction de la porosité



6 Forme de la congère en fonction de la garde au sol



Dans ces conditions et en terrain plat, la longueur de la congère à saturation est de $25 H$ et le volume de neige accumulé à saturation est de $20 H^2$ par mètre linéaire de barrière. Lorsque les vents sont violents, la longueur et la hauteur de la congère à saturation sont plus faibles, et une distance de $20 H$ est suffisante. Ainsi par mètre linéaire, une barrière de 2 m de haut permet de créer une congère de 50 m de long et de stocker un volume de neige de 80 m^3 . Attention, ces résultats ne sont valables que pour des terrains plats. Les expériences en terrain pentu sont rares et aucune prescription précise n'a été établie. Une pente montante (dans le sens du vent) est défavorable (photo 5, figure 7) alors qu'une pente descendante est favorable (Naaim-Bouvet *et al.*, 2002).

À l'aménageur qui décide d'implanter des barrières à neige, plusieurs questions vont se poser. Quelle hauteur, quelle longueur, quelle orientation et quel type de barrières à neige ?

Il est préférable d'implanter une barrière à neige d'une longueur suffisante, généralement supérieure à vingt fois la hauteur de la barrière. Pourquoi ? Pour limiter l'influence du rabattement de l'air de chaque côté de la barrière qui donne à la congère sa forme semi-elliptique. Lorsque la longueur de la barrière est supérieure à $20 H$, l'ellipse est « aplatie » et la quantité de neige accumulée rapportée au linéaire de barrière est plus importante que dans le cas d'un faible linéaire de barrière (inférieur à $20 H$).

La barrière à neige doit être placée perpendiculairement à la direction du vent responsable du transport. En effet, lorsque l'angle d'attaque du vent est perpendiculaire à l'axe de la barrière, la congère s'inscrit dans une demi-ellipse ; mais lorsque cet angle s'écarte de la perpendiculaire, la congère s'inscrit progressivement dans un triangle pour quasiment disparaître lorsque θ , l'angle entre la direction du vent et l'axe de la barrière, est de l'ordre de 45° . Tant que β , l'angle entre la direction du vent et la perpendiculaire à la route à protéger, reste inférieur à 20° , la barrière sera implantée parallèlement à la route. Pour des valeurs supérieures à 20° , les barrières devront être disposées en arrête de poisson (photo 6) de telle sorte qu'elles restent perpendiculaires à la direction du vent dominant avec une zone de recouvrement suffisamment importante entre elles. Ceci conduit à des

► les barrières à neige. Pour une vitesse de vent donnée, lorsque la porosité augmente, les congères deviennent plus longues et moins épaisses (figure 5). La porosité optimale est comprise entre 40 et 60 %.

La garde au sol est l'espace laissé libre entre le bas du panneau constituant la barrière et le niveau du sol. Son rôle est double : en accélérant le vent sous la barrière, elle permet d'obtenir des congères plus longues et moins épaisses (ce qui rejoint l'effet produit par la porosité) et de limiter le tassement de la neige sur la barrière (figure 6).

La hauteur optimale de la garde au sol est la hauteur moyenne d'une chute de neige sans vent ; en effet, il ne faut pas que la garde au sol soit enfouie sous la neige sans quoi son effet serait annulé. Souvent l'intérêt de la garde au sol est contesté ; pour certains types de barrières à neige (barrière châtaigner en particulier), elle est difficile à mettre en œuvre, notamment du fait du poids de la barrière ; par ailleurs, elle entraîne la formation d'une congère plus longue, ce qui conduit à des emprises foncières plus importantes pour implanter les barrières.

Il apparaît donc que pour obtenir un maximum d'efficacité, une barrière à neige de hauteur H doit avoir une porosité de 40 à 60 % et une garde au sol d'une hauteur égale à la chute moyenne de neige sans vent.

ratios « longueur de barrières sur longueur de route à protéger » importants et cette solution est rarement adoptée par les gestionnaires, soit par méconnaissance, soit par les contraintes supplémentaires qu'elle induit. C'est pourtant la seule qui soit efficace.

Il apparaît donc nécessaire de bien étudier la direction des vents dominants avant d'implanter une barrière à neige. Par ailleurs, la barrière à neige doit être placée suffisamment loin de la voie à protéger, afin que la congère n'aille pas mourir sur la route augmentant ainsi les difficultés... La distance minimale préconisée (photo 7) est de 25 H (soit la longueur maximale de la congère générée par la barrière).

L'avantage des barrières à neige est leur efficacité immédiate du point de vue de la formation des congères. Par contre, elles n'auront que très peu d'effets sur la visibilité. De plus utiliser des barrières à neige dans de bonnes conditions n'est pas toujours possible : les vents responsables du transport peuvent avoir des directions variables (cas de topographies accidentées) et les barrières fixes auront alors une efficacité réduite.

L'ingénierie écologique

Les haies

Pourquoi dissenter aussi longtemps sur les barrières à neige dans un article dédié aux haies et boisements pare-congères ? Tout simplement parce que la recherche dans ce domaine est relativement peu active et que les résultats obtenus sur les barrières à neige sont bien souvent extrapolés aux haies pare-congères qui fonctionnent de manière analogue. À ce titre, les statistiques obtenues à partir d'une base de données internationale relative aux publications scientifiques sont édifiantes : un article traitant des haies et des congères durant les cinquante dernières années contre une centaine pour les barrières à neige ! La littérature est également plus abondante pour ce qui est de l'interaction entre vent et haie, sujet complexe à lui seul. Les effets aérodynamiques ne dépendent plus uniquement de la hauteur, de la longueur et de la porosité, mais également de la section transversale, autrement dit de la tortuosité du parcours du vent

à travers le végétal (De Parcevaux et Huber, 2007). Et il existe un couplage important entre le vent et les haies ou bandes boisées :

- le vent réoriente la direction des feuilles, changeant ainsi la porosité et la tortuosité ;
- le mouvement même des plants, sous l'effet du vent, entraîne en réponse une modification de l'écoulement (De Langre, 2008).

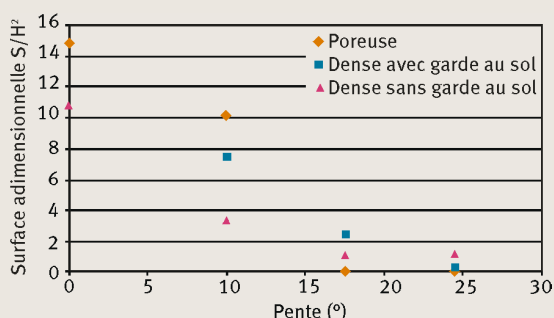
5 Modélisation physique du comportement d'une barrière à neige pleine avec garde au sol et sur terrain pentu avec de la neige de canon dans la soufflerie du CSTB.



6 Barrières à neige disposées en épi avec zone de recouvrement, au Col de La Fageole.



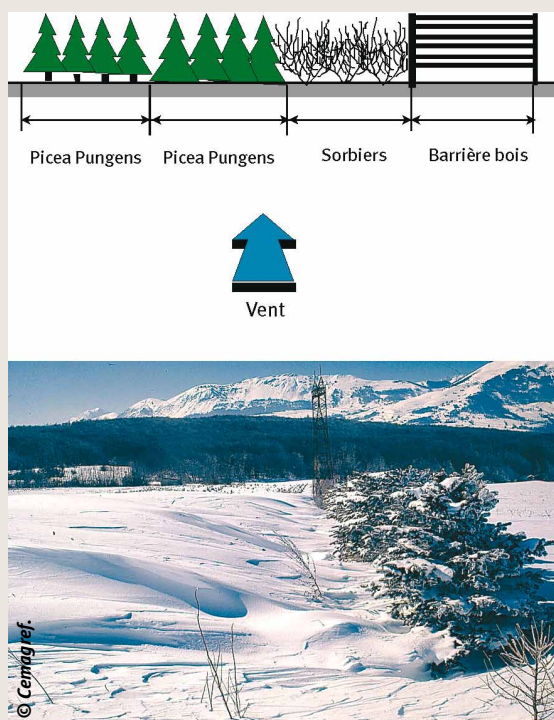
7 Visualisation de la perte d'efficacité des barrières à neige de 9 cm de hauteur sur terrain en pente montante obtenue après 10 minutes d'expérimentation



7 Barrière à neige placée trop près de la chaussée.



8 Dispositif expérimental du Col de Manse

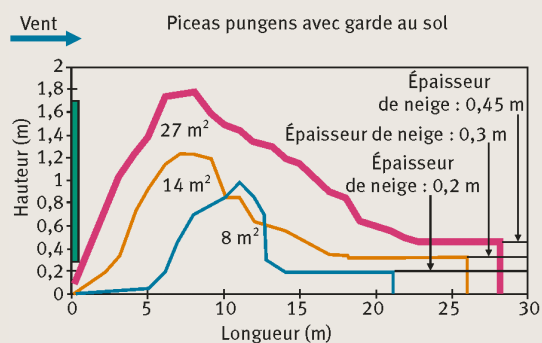
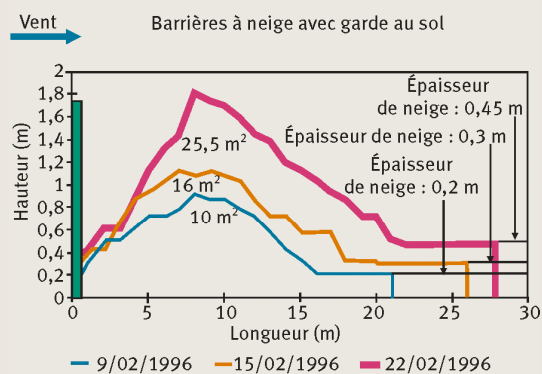
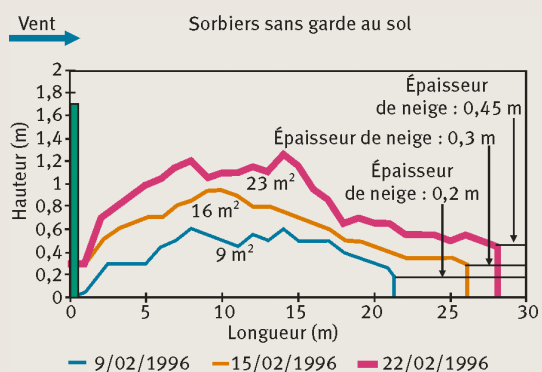


► La modélisation de l'interaction entre transport éolien de la neige et végétaux ne permet pas encore d'obtenir des résultats transférables à l'ingénierie. Les approches réalisées en soufflerie restent plus qualitatives que quantitatives (Naaïm-Bouvet et Brugnot, 1996) et la modélisation numérique n'a pas encore été testée sur de telles structures. La démarche reste donc essentiellement basée sur des résultats obtenus sur des sites expérimentaux avec une difficulté supplémentaire liée au temps nécessaire à la croissance des végétaux peu compatible avec les durées actuelles des projets de recherche.

Traditionnellement, des espèces à feuilles persistantes et denses (de type résineux) sont utilisées pour former des haies pare-congères (tout comme les premières barrières à neige étaient constituées de murs). Du fait de la similitude de fonctionnement aérodynamique entre barrières à neige et haies, des haies plus poreuses (feuilles caduques) ont été testées avec des gardes au sol (Naaïm-Bouvet et Mullenbach, 1998). Il s'agissait de vérifier si les caractéristiques optimales des barrières à neige (porosité comprise entre 40 et 60 %, garde au sol de 0,2 H avec H hauteur de la barrière) pouvaient aussi s'appliquer aux végétaux. Le dispositif expérimental fut installé sur un plateau au nord-ouest du col de Manse (à proximité de Gap dans les Hautes-Alpes) et perpendiculairement au vent dominant. Il était constitué d'une haie de sorbiers des oiseleurs, d'une haie de mélèzes, d'une haie de *Piceas pungens* sans garde au sol, d'une haie de *Piceas pungens* avec garde au sol, d'une barrière à neige type « Cemagref », chacune ayant une longueur de 20 m (figure 8).

Bien que la porosité ne constitue pas le paramètre le plus approprié pour caractériser le dispositif, c'est le seul auquel

9 Comparaison du fonctionnement de différentes haies pare congères (Col de Manse)



nous puissions avoir accès dans le cas de la haie. La porosité moyenne de la haie de sorbiers, relativement homogène, était de l'ordre de 50 %. Par contre, les épicéas présentaient une grande disparité entre la cime (porosité 60 à 80 %) et la partie basse des arbres (porosité 20 à 30 %).

Lors des premières années, les épisodes de transport de neige par le vent ont été peu nombreux et les résultats obtenus non significatifs. Seuls les résultats obtenus lors de l'hiver 1996 présentent un intérêt. Les arbres à feuilles caduques, tels les sorbiers, donnent de bons résultats puisqu'à la fin de la saison hivernale, la capacité de stockage de neige est d'environ 80 % de celle de la barrière à neige témoin, considérée comme optimale (figure 9). Certes, la capacité de stockage des *Piceas pungens*, proche de celle de la barrière à neige, est plus importante. Cependant, dans

des zones de plaine où le transport de neige par le vent est actif, l'utilisation d'arbres à feuilles caduques comme dispositif pare-congères s'intègre mieux dans le paysage. Enfin, la garde au sol des épicéas de 50 cm, pourtant prometteuse, est insuffisante en raison du poids de la neige sur les branches basses. Ainsi, haies brise-vent et barrières à neige fonctionnent de donc façon identique.

Les haies ont plusieurs avantages : bonne intégration dans le paysage, corridor écologique, protection des troupeaux et protection pare-congère durable et donc économique dans le temps. Néanmoins, elles impliquent d'avoir une maîtrise foncière des zones où elles sont implantées (ou du moins elles requièrent un accord avec les propriétaires) et elles nécessitent un certain nombre d'années avant d'être efficaces (plants de 1,5 à 3 m de haut). Dans certains cas, on peut donc accompagner la plantation de la mise en place de barrières à neige qui auront un rôle protecteur immédiat, les plantations prenant le relais ultérieurement. Mais attention, les dépôts de neige générés sur les plants ne devront pas dépasser 1,5 m pour ne pas exercer une pression excessive sur les plants.

Les bandes boisées

Les bandes boisées peuvent également limiter la formation des congères en bloquant la neige au vent du peuplement. Elles sont caractérisées par des plantations larges et denses (au minimum cinq rangées de résineux ou dix rangées de feuillus). L'air s'engouffre dans le massif d'arbres et s'élimine progressivement par les cimes. Du côté sous le vent, la protection s'étend sur vingt à trente fois la hauteur du peuplement (figure 10). Il y a non seulement interception de la neige soufflée dans la bande boisée (photo 8), mais aussi du brouillard et de la bruine, d'où un accroissement de visibilité particulièrement significatif, améliorant ainsi confort et sécurité de l'utilisateur. Cet accroissement de visibilité n'a jamais été quantifié précisément. Par ailleurs, un tel dispositif est moins sensible à la direction du vent qu'une barrière ou qu'une haie : il est efficace pour un angle θ de quasiment 180°. Par contre, une bande boisée bordant une route peut favoriser la formation de verglas dangereux pour l'automobiliste (photo 9).

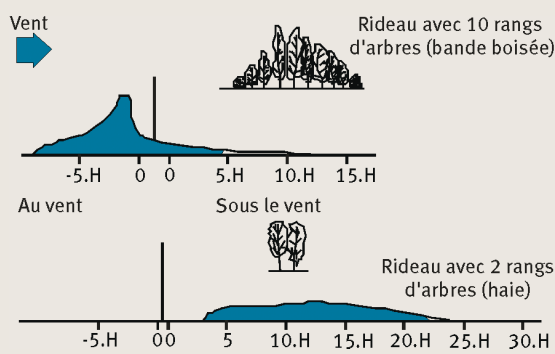
L'avantage de la bande boisée est sa grande efficacité sur les congères tout en améliorant la visibilité. En contrepartie, ce dispositif implique d'avoir la maîtrise foncière des zones sur lesquelles il est implanté et nécessite de nombreuses années avant d'être efficace (plants de 4 à 5 m de haut). Des bandes boisées plantées à proximité de la route, auront tendance les premières années à générer des congères sur la chaussée, les plants de petite taille se comportant comme des haies pare-congères. On peut envisager de palier ce manque d'efficacité par la mise en place de barrières pare-neige.

Choix des essences

Les essences retenues doivent répondre à quatre critères :

- porosité hivernale intéressante pour une bonne efficacité pare-congères,

10 Profils d'accumulations de neige interceptée par des rideaux d'arbres défoliés (d'après Woodruff)



8 Illustration de l'effet d'une bande boisée (en premier plan, on distingue une congère correspondant à la zone non protégée par la bande boisée).



9 Verglas persistant à cause de l'ombre portée d'une bande boisée.

- adaptation aux conditions de sols, de climat et de plein ensoleillement,
- diversification pour une meilleure résistance au vent et aux tempêtes,
- intégration au paysage.

Il est intéressant d'identifier les essences adaptées au site d'implantation en étudiant les plantations spontanées ou anthropiques menées à proximité des sites retenus. La porosité hivernale de différentes essences spontanées peut être mesurée (photo 10) grâce à un logiciel de traitement d'images (il en existe plusieurs en version libre) ▶

1 Exemple de porosité pour une implantation dans le Massif Central

	Porosité 30-40 %	Porosité 40-50 %	Porosité 50-60 %	Porosité 60-70 %	Porosité > 70 %
Arbustes buissonnants	Prunellier Aubépine Églantier	Noisetier Saule arbustif			
Arbustes intermédiaires	Prunier sauvage		Sorbier des oiseaux Saule marsault		
Arbres	Résineux	Hêtre		Tilleul	Bouleau
Haies brise- vent plantées pour le bétail		Base des haies (0-3 m)	Partie arbustive des haies (3-6 m)	Partie haute des haies (strate arborée > 6 m de haut)	

► à partir de vues prises en hiver sur un couvert de neige (pour simplifier le traitement). Un exemple pour une implantation à plus de 1 100 m dans le Massif Central est présenté dans le tableau 1.

Haies et bandes boisées : un matériel vivant à entretenir

Les plantations de haies et de bandes boisées requièrent des précautions liées au contexte du site. Tout d'abord, il faut exiger des plants d'origine locale, pour leur bonne adaptabilité. Les plants forestiers (1-2 ans) sont conseillés et sont à planter préférentiellement en godet en altitude ; et au printemps pour les résineux. Le paillage est fortement recommandé dès que la pluviométrie est limitée car il permet de retenir la fraîcheur du sol. En altitude, le paillage sous forme de bois déchiqueté est fortement conseillé. À défaut, on peut utiliser un film plastique (à retirer au bout de 5-10 ans). Les films biodégradables ont été testés mais ne sont pas

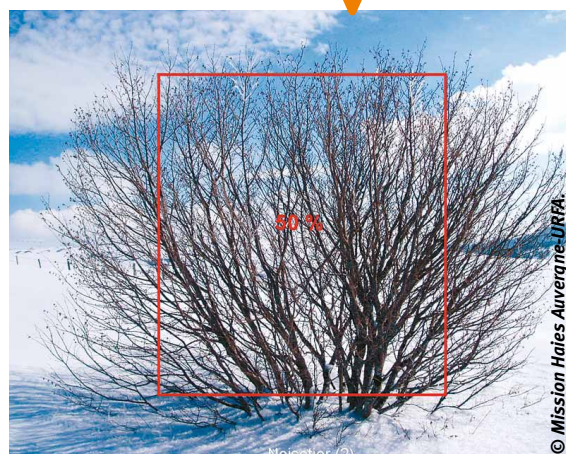
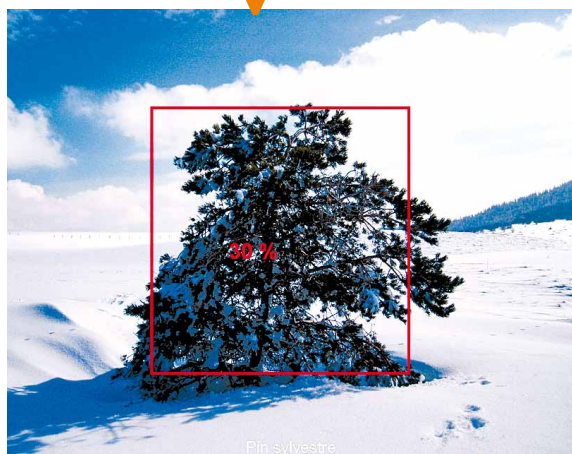
assez pérennes en altitude où la croissance des plants est lente. Les plantations sont à réaliser selon les mêmes exigences que celles des haies champêtres (travail plus soigné qu'en plantation forestière) car les conditions de croissance des plants seront plus difficiles qu'en forêt. La clôture des plantations est indispensable s'il y a présence de bovins en estive l'été.

Après un ou deux ans de végétation, il faut regarnir les trouées et recéper les arbustes intermédiaires (sorbier des oiseaux, saule marsault, aubépine). L'objectif du recépage, qui consiste à rabattre les arbustes à 3 cm du sol, est de faire buissonner ces essences afin de diminuer leur porosité. Les clôtures au droit des zones de parcsages des troupeaux devront être surveillées.

Un entretien limité et une gestion assurant la pérennité de l'efficacité du dispositif

À long terme, la haie devra être rabattue régulièrement à la hauteur de l'objectif. Dans le cas contraire, elle

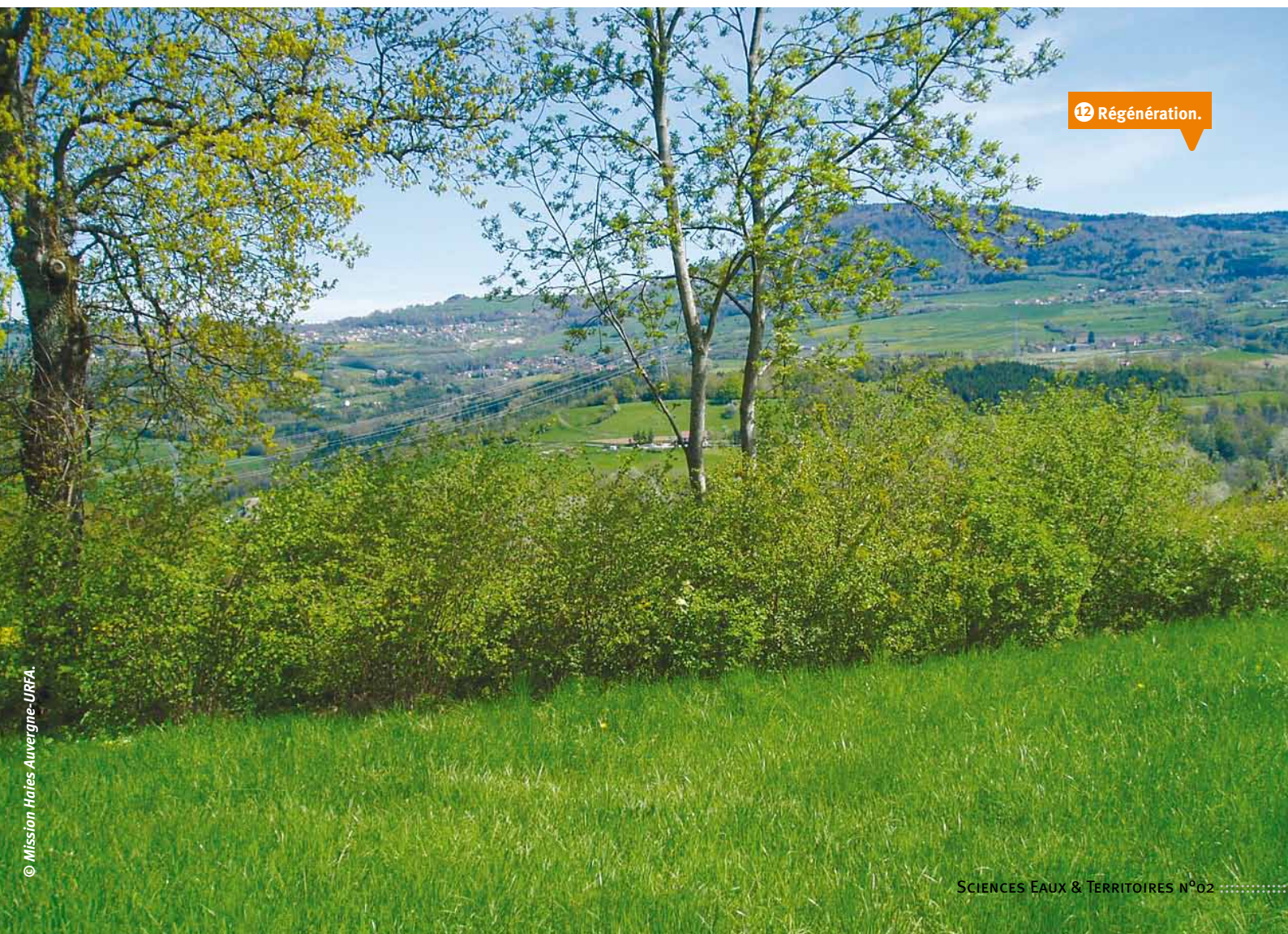
10 Détermination de la porosité des différentes images par traitement d'images.



11 Reçepage dense
de deux ans.

pourrait conduire à une suraccumulation de neige sur la chaussée. Pour les plantations à croissance libre (bandes boisées), il n'y a pas d'entretien annuel mais un suivi précis tous les dix ans. Ainsi, pour les feuillus, en cas de moindre efficacité, un reçepage est possible. Il

consiste à couper au ras du sol les arbres et arbustes en fin d'hiver (photo 11). Ils rejettent alors vigoureusement de la base et reforment une touffe dense et bien garnie (photo 12). Quant aux résineux gérés en peuplement, ils se dégarnissent à la base s'ils sont trop en concurrence (la lumière doit arriver jusqu'à la base des arbres pour maintenir les branches basses en vie). Or, l'efficacité des bandes boisées pare-congères dépend justement d'une bonne densité de branches basales et l'élagage naturel des branches basses doit impérativement être évité. Pour cela, il est suggéré de planifier des actions de dépressage tous les 10 ou 20 ans selon la croissance des plants. Le dépressage consiste à couper un arbre sur deux, afin de maintenir la pénétration du soleil jusqu'au pied des arbres, garantie de viabilité des branches basses. Il est également conseillé d'anticiper le renouvellement de ces bandes résineuses en plantant des essences résineuses acceptant de pousser à l'ombre à la place des plants coupés (sapin pectiné). Ces jeunes plants constitueront un sous-étage qui prendra à terme la place des résineux implantés en premier. Cette gestion sylvicole est indispensable pour éviter le problème d'élagage naturel et le risque de perte d'efficacité totale des bandes boisées résineuses. C'est aujourd'hui le cas sur certaines bandes boisées résineuses mono spécifiques de l'Aubrac, ►

12 Régénération.

qui au bout de 30 ans, se dégarnissent à la base (photo 13) et ont été abîmées par la tempête de 1999. À défaut de protéger les voiries, elles créent mêmes des nuisances les hivers ventés (photo 14).

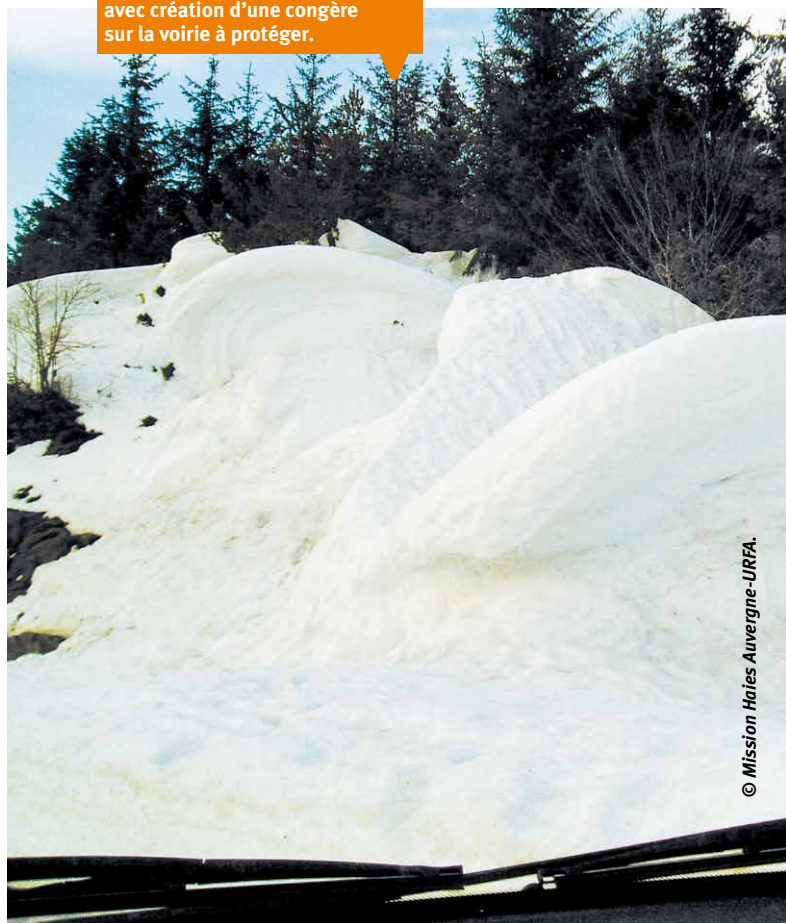
Il faut donc prévoir, dès l'implantation, un accès possible aux engins d'entretien.

Cette gestion à long terme est rarement pratiquée et pourtant elle était préconisée dès 1864 : « *Les bandes de quelques mètres d'épaisseur plantées sur la lisière des chemins de fer ne sont pas l'équivalent d'une forêt entière et exigent, pour être efficaces, quelques soins spéciaux. On sait que le sapin, en grandissant, perd ses branches inférieures et livre ainsi facilement passage au vent près du sol. Pour prévenir cet effet et obtenir une fermeture plus hermétique, il importe de multiplier les rangées de plants, de couper fréquemment la rangée extrême de façon à la maintenir à l'état de haie, de laisser grandir davantage la rangée suivante et ainsi de proche en proche* » (extraits de l'article de Nordling.

La maîtrise foncière : une question à ne pas négliger

Le mieux est bien évidemment de pouvoir disposer des terrains sur lesquels les haies ou bandes boisées sont à implanter, car il faut pouvoir s'assurer de leur pérennité. Or, l'emprise foncière des infrastructures routières ou ferrées est limitée à la chaussée et ses dépendances, incompatible avec les emprises nécessaires au recul imposé par ces plantations. Et il n'est pas toujours opportun de lancer des procédures d'expropriation suite à une déclaration d'utilité publique antérieure ! Du fait de la norme, les barrières à neige constructeurs (type filet) ont une porosité entre 40 et 60 % et sont vendues par module de hauteur fixe et non modifiable. Ainsi,

14 Du fait de cet élagage, en cas de vent fort, la neige traverse le dispositif au ras du sol avec création d'une congère sur la voirie à protéger.



© Mission Haies Auvergne-URFA.



© Mission Haies Auvergne-URFA.

13 Bande boisée résineuse de l'Aubrac non entretenue avec pour conséquence un élagage naturel par concurrence des résineux sur 4 m de haut.

les barrières doivent souvent être implantées à 40-50 m au vent de la chaussée (pour une hauteur de 2 m par exemple), et il n'est généralement pas possible de profiter des limites de parcelle ou bordures de chemin d'exploitation pour implanter le dispositif. Haies et bandes boisées laissent beaucoup plus de latitude et sont souvent dimensionnées et choisies en fonction des endroits où il serait possible de les mettre en place. En jouant conjointement sur la porosité (puisque les haies ne sont pas encore normées, profitons-en !) et la hauteur, il est parfois possible de les implanter en fonction des limites à respecter. Si cette dernière solution ou l'acquisition foncière n'est pas possible, il faut alors envisager :

- soit le bail locatif (mais qui n'est pas opposable aux tiers et qui pose donc problèmes en cas de changement de propriétaire),
- soit la servitude (dans ce cas, un fond dominant et un fond servant sont nécessaires).

La solution la plus adéquate semble être la servitude puisqu'elle induit l'inscription aux hypothèques de l'aménagement, assurant la pérennité dans le temps dans le cas d'un changement de propriétaire ou d'exploitant. Cependant, pour négocier avec les propriétaires, il est nécessaire d'estimer les indemnités compensa-

toires pour la perte des revenus liés à la diminution des surfaces agricoles utilisables et le montant des primes qui ne seraient plus perçues du fait de l'implantation des bandes boisées et haies. Pour ce qui est des primes, plusieurs sont à considérer :

- la PHAE2* (prime herbagère agro-environnementale). Il s'agit d'un contrat de cinq ans pour encourager le maintien et l'entretien des espaces à gestion extensives par la fauche ou le pâturage (indemnité « Individuels » : 76 €/ha) ; indemnité « Estives collectives » : entre 30 et 60 €/ha selon l'engagement souscrit par l'entité collective, données 2010) ;
 - la DPU* (droit à paiement unique) est une aide issue de la Politique agricole commune (PAC*). Suite à la réforme des subventions de 2010, trois nouveaux soutiens spécifiques sont créés : pour les surfaces en herbe chez les éleveurs, pour les surfaces en maïs détenues par les éleveurs, et pour les surfaces en légumes, pommes de terre de consommation et plants de pommes de terre ;
 - l'ICHN* (indemnité compensatoire de handicaps naturels) est réservée aux agriculteurs exploitant et habitant en zone défavorisée (montagne, piémont, défavorisée simple). Elle est destinée à compenser les surcoûts affectant ces zones, ainsi que la moindre productivité liée aux conditions climatiques et/ou au relief. Depuis 1974, elle permet de maintenir la communauté rurale, de préserver l'espace naturel et de promouvoir les modes d'exploitation durables tenant compte d'exigences environnementales et peut être perçue pour une surface de 50 ha maximum (indemnité maximale = 136 €/ha pour une zone de montagne – données 2010, cf. site de la direction départementale des territoires (DDT*) du Puy de Dôme : www.puy-de-dome.equipement.gouv.fr). Les indemnités compensatoires sont versées annuellement à l'exploitant, sous l'égide de la DDT. Les exploitants ont jusqu'au 15 mai de chaque année pour déposer leurs dossiers. Toute intervention technique qui arriverait après cette date ne pourrait donc pas être prise en compte pour l'année en cours.
- Par ailleurs l'implantation de bandes boisées peut conduire à une exonération de la taxe foncière: un boisement de terre agricole permet d'obtenir une exonération de taxe foncière pendant trente ans (résineux) ou cinquante ans (feuillus) sur la parcelle boisée, sans limite de surface. La seule limite existante est qu'il faut

que la taxe foncière agricole de la surface concernée représente un montant annuel d'au moins 5 € par an. Mais ces calculs ne sont qu'un élément de la négociation à prendre en compte et ne garantissent en aucun cas sa réussite

Conclusions

Certes l'implantation de haies et bandes boisées n'est pas adaptée dans un contexte alpin au-delà de la limite de végétation arborescente. Elle se heurte souvent à des problèmes de maîtrise foncière et nécessite un entretien sur le long terme. Par ailleurs, d'autres actions telles le remodelage du profil routier peuvent s'avérer fort efficaces dans bien des cas. Cependant, haies et bandes boisées permettent de répondre de façon élégante aux problèmes de formation de congères et ce de façon pérenne. Cet article permet de faire le point sur l'ensemble des connaissances disponibles à ce jour mais il est vrai que des actions de recherche, qui correspondent d'ailleurs à des demandes de gestionnaires, mériteraient encore d'être développées telle la quantification des effets des feuillus, l'influence des pentes ou encore la quantification de l'amélioration de la visibilité sous le vent des bandes boisées. ■

Les auteurs

Florence Naaim

Cemagref, centre de Grenoble, UR ETGR, Érosion torrentielle, neige et avalanches,
2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 Saint Martin d'Hères Cedex
florence.naaim@cemagref.fr

Sylvie Monier

Mission Haies Auvergne, Union régionale des forêts d'Auvergne,
Maison de la forêt et du bois,
BP 104, Marmilhat, 63 370 Lempdes
sylvie.monier@crpf.fr

Sylvie Ougier

Conseil général du Puy-de-Dôme, Service Routes et environnement,
24 rue Saint Esprit, 63033 Clermont-Ferrand
sylvie.ougier@cg63.fr

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- CETE, Cemagref, Subdivision de l'équipement de Besse-en-Chandesse, de 1982 à 1988, Essais comparatifs de barrières à neige.
- MONIER, S., NAAIM BOUVET, F., 2006, *Étude expérimentale de plantations pare-congères dans le département du Puy-de-Dôme*, 51 p.
- NAAIM BOUVET, F., MULLENBACH, P., 1998, Field experiments on "living" snow fences, *Annals of glaciology*, n° 26, p. 217-220.
- NAAIM BOUVET, F., NAAIM, M., 2000, Transport de la neige par le vent : connaissances de base, recommandations et modélisations, in : *La neige : recherche et réglementation*, AFGC, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Cemagref Éditions, Paris, Antony, p. 65-154.
- NF P95-305 Décembre 1992, Équipements de protection contre les avalanches – Barrière à neige – Spécifications de conception.

► Consulter l'ensemble des références sur le site de la revue www.set-revue.fr