



HAL
open science

Brise-vent, pare-feu et sylviculture

G. Guyot

► **To cite this version:**

G. Guyot. Brise-vent, pare-feu et sylviculture. Revue forestière française, 1990, 42 (S), pp.93-105.
10.4267/2042/26172 . hal-03425309

HAL Id: hal-03425309

<https://hal.science/hal-03425309v1>

Submitted on 10 Nov 2021

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

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

BRISE-VENT, PARE-FEU ET SYLVICULTURE

Les brise-vent en réduisant la vitesse du vent pourraient avoir deux effets complémentaires au niveau du développement des incendies de forêts :

- ils pourraient réduire le renouvellement du comburant : l'oxygène, et ainsi limiter la vitesse de propagation du feu ;
- ils pourraient réduire l'inflammabilité de la végétation qu'ils protègent en ralentissant son dessèchement, ce qui reste cependant à prouver.

Mais on ne peut pas envisager l'installation, dans les massifs forestiers, de brise-vent tels que ceux qui sont utilisés pour protéger les cultures sylvicoles. Il faut rechercher des solutions sylvicoles.

Le but de cet article est d'amener une réflexion sur les problèmes d'aménagement des massifs forestiers. Mais auparavant, il est nécessaire de rappeler brièvement quels sont les effets aérodynamiques et microclimatiques des brise-vent et des réseaux de protection, afin de pouvoir comprendre et justifier les choix qui seront faits.

LES EFFETS AÉRODYNAMIQUES DES BRISE-VENT ET DES RÉSEAUX DE PROTECTION

Les brise-vent, en réduisant la vitesse du vent, modifient les échanges de chaleur, de vapeur d'eau, de gaz carbonique... entre le sol et l'atmosphère. L'ensemble des paramètres du microclimat est ainsi affecté. Par ailleurs, lorsque les brise-vent sont regroupés en réseaux de protection étendus, il faut non seulement considérer leurs effets à l'échelle de la parcelle protégée mais également à celle de l'aménagement régional.

Les effets aérodynamiques des brise-vent isolés

- *Le rôle de la hauteur d'un brise-vent*

Le premier facteur dont dépendent les effets aérodynamiques des brise-vent est leur hauteur H [1] [2] ⁽¹⁾. L'extension de la zone qu'ils protègent lui est sensiblement proportionnelle. C'est la raison pour laquelle cette hauteur H est généralement prise comme unité de mesure des distances et des hauteurs afin de faciliter les comparaisons.

(1) Les numéros entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

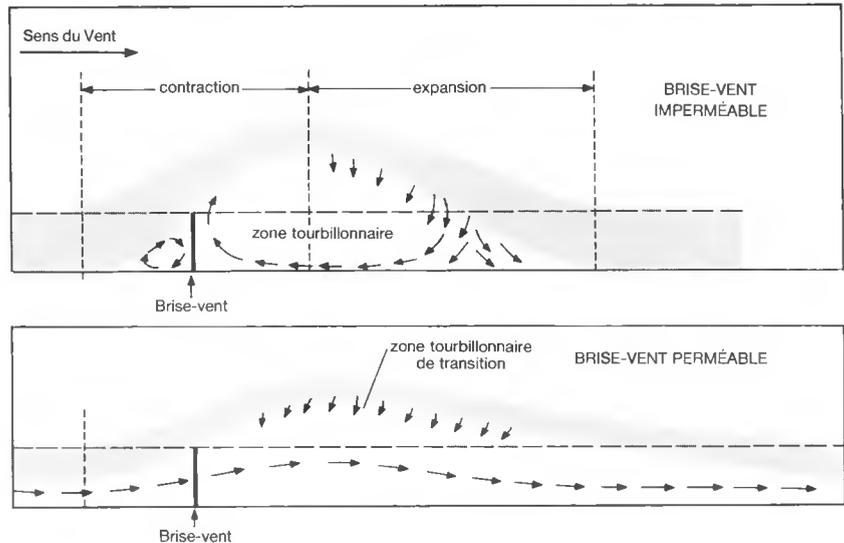
● *Le rôle de la porosité d'un brise-vent*

Le second facteur qui affecte la réduction du vent par un brise-vent est sa porosité Φ . Comme le montre schématiquement la figure 1 (ci-dessous), il se forme à l'aval d'un brise-vent imperméable un vaste tourbillon. La veine d'air qui l'a contourné se rabat vers le sol à une distance égale à 5 ou 6 H. Le courant de retour, que l'on observe au niveau de la surface du sol, alimente un mouvement ascendant qui se produit juste à l'aval du brise-vent.

Dans le cas d'un brise-vent perméable, le tourbillon disparaît et l'écoulement de l'air dans la zone protégée est régulier. La réduction de la vitesse du vent, immédiatement à l'aval du brise-vent, est plus faible que dans le cas d'un brise-vent imperméable, mais elle se manifeste sur une distance plus grande.

De nombreux résultats expérimentaux [1] [2] ont permis de montrer l'existence d'une porosité optimale pour laquelle la combinaison de la réduction du vent et de l'extension de la zone protégée a une valeur maximale. Cette porosité optimale est de l'ordre de 40 % pour un brise-vent sans épaisseur. Pour un brise-vent forestier, il faut tenir compte à la fois de la porosité de la surface du brise-vent et de la tortuosité du parcours du vent entre les branches. La porosité du brise-vent est alors définie par comparaison de ses effets aérodynamiques avec ceux d'un brise-vent sans épaisseur, de porosité connue.

Figure 1 REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE L'EFFET D'UN BRISE-VENT SUR L'ÉCOULEMENT DE L'AIR [1]



● *Le rôle de la structure d'un brise-vent*

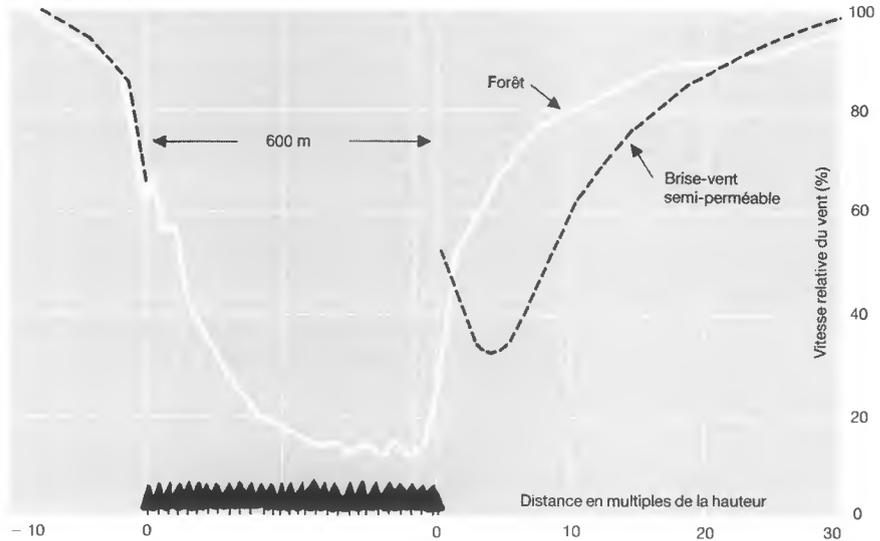
Lorsque les brise-vent sont constitués par des rideaux d'arbres, leur porosité peut varier en fonction de la hauteur au-dessus du sol. Un certain nombre de travaux expérimentaux a permis de montrer que la porosité de la base d'un brise-vent joue un rôle fondamental [1] [2]. Lorsqu'elle est imperméable, l'ensemble du brise-vent se comporte comme un brise-vent imperméable alors que, lorsqu'elle est perméable, il se comporte comme un brise-vent perméable, même si la partie supérieure est imperméable. Ce point est très important lorsque l'on considère des bandes forestières. Si celles-ci possèdent un sous-bois ou un sous-étage, elles se comporteront comme un brise-vent imperméable.

Un autre facteur important pour les brise-vent forestiers est leur largeur. Toutes les études aérodynamiques qui ont été effectuées dans les conditions naturelles ou sur des maquettes en soufflerie ont permis de montrer qu'un brise-vent devait être mince pour avoir le maximum d'efficacité (un brise-vent est mince lorsque sa largeur est inférieure à la hauteur des arbres).

Les bandes boisées larges (largeur supérieure à la hauteur des arbres) sont moins efficaces car leur porosité diminue lorsque leur largeur augmente. C'est ce que montre la figure 2 (ci-dessous) qui correspond à des mesures effectuées en Suisse par Nägeli [3].

Figure 2 **EFFET D'UNE BANDE FORESTIÈRE DE 600 M DE LARGE (ÉPICÉAS DE 28 M DE HAUT)**
SUR LA VITESSE DU VENT

(exprimée en fonction de la vitesse mesurée en témoin à 2 m au-dessus du sol) (d'après Nägeli).



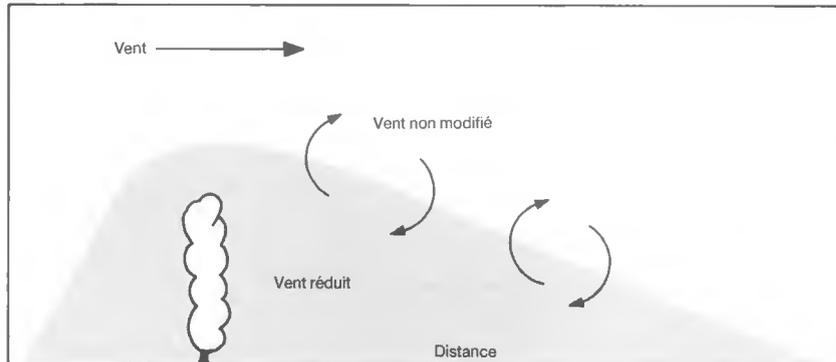
● *Le rôle de l'environnement d'un brise-vent*

Les effets aérodynamiques d'un brise-vent dépendent également des caractéristiques du vent et en particulier de sa turbulence. Très schématiquement, le taux de turbulence du vent représente la proportion de tourbillons dans l'écoulement. L'extension de la zone protégée dépend du mélange qui s'effectue entre l'air à vitesse ralentie au voisinage du sol et l'air qui passe au-dessus du brise-vent (figure 3, ci-dessous). Le mélange s'effectuera d'autant plus facilement que les tourbillons dans l'écoulement seront plus nombreux et l'extension de la zone protégée sera alors réduite.

Dans une zone dégagée, où le vent est peu turbulent, un brise-vent perméable réduit la vitesse du vent sur une distance égale à au moins 20 H. Dans une zone où des obstacles (rideaux d'arbres, habitations, relief...) accroissent la turbulence de l'air, cette distance n'excède pas 12 H. Ainsi, à l'intérieur d'un réseau de protection, un brise-vent protège une surface beaucoup plus faible que s'il était isolé.

Figure 3 **REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DU RÔLE JOUÉ PAR LES TOURBILLONS DANS LA REPRISE DE LA VITESSE DU VENT À L'AVANT D'UN BRISE-VENT.**

La partie grisée correspond à la zone dans laquelle la vitesse du vent est réduite par rapport à une zone témoin [1].



Les effets aérodynamiques d'un réseau de brise-vent

D'après ce que nous venons de voir, dans un réseau de brise-vent les effets aérodynamiques des rideaux d'arbres successifs ne sont pas cumulatifs. Cependant, si l'on considère un réseau de protection suffisamment étendu, il se développe alors ce que l'on peut appeler une « rugosité régionale ». Il faut d'ailleurs noter que des arbres dispersés ou des bouquets d'arbres plus ou moins régulièrement répartis sur une surface ont pratiquement le même effet de freinage qu'un réseau de brise-vent.

La figure 4 (ci-dessous) représente de façon schématique l'action d'un réseau de brise-vent sur l'écoulement de l'air au voisinage du sol. Si les rideaux successifs sont suffisamment rapprochés, les perturbations du vent qu'ils induisent se propagent progressivement en altitude. La zone de l'écoulement ainsi perturbée est appelée couche-limite régionale et ses caractéristiques sont fonction de celles du réseau de protection.

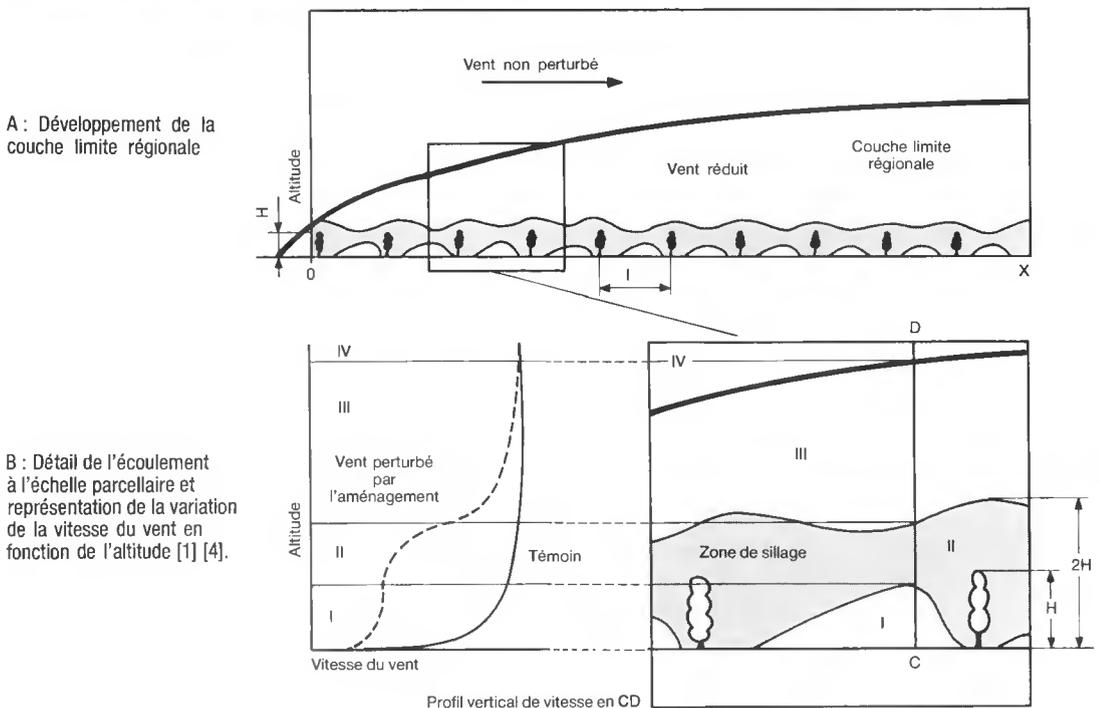
La partie B de la figure 4 représente le détail de l'écoulement à l'échelle de la parcelle et la comparaison du profil vertical de vitesse du vent dans une zone témoin, sans rideaux d'arbres, et dans une zone cloisonnée. On distingue ainsi 4 parties différentes, dans l'écoulement de l'air, en s'élevant à partir du sol :

- I : correspond à l'écoulement qui dépend de l'état de surface du sol ;
- II : est la zone de sillage dans laquelle l'écoulement est perturbé par le brise-vent ;
- III : est la couche-limite régionale ;
- IV : est la zone dans laquelle le vent n'est pas perturbé.

À partir des profils verticaux de vitesse du vent, on peut définir des paramètres aérodynamiques qui caractérisent l'écoulement de l'air à l'échelle régionale. La « rugosité régionale » dépend de la hauteur, de la porosité et de l'espacement des brise-vent successifs. Il a ainsi pu être montré [5] que, lorsque l'espacement des brise-vent diminue, la rugosité régionale augmente et

Figure 4

REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE L'INFLUENCE D'UN AMÉNAGEMENT RÉGIONAL SUR L'ÉCOULEMENT DE L'AIR.

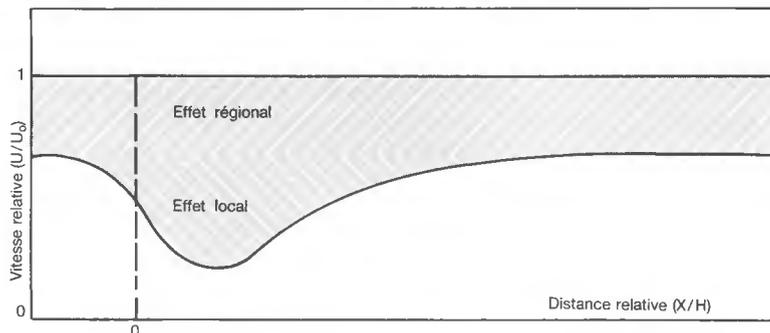


passer par un maximum pour une distance entre les brise-vent voisine de 5 H. Lorsque la distance est plus faible, la rugosité diminue de nouveau car on tend progressivement vers un massif forestier continu. Le maximum de rugosité correspond au freinage maximum du vent.

La figure 5 (ci-dessous) représente schématiquement la réduction du vent par un brise-vent situé à l'intérieur d'un réseau de protection. Deux effets se superposent : l'effet local du brise-vent qui se manifeste sur une distance relativement faible (à cause de la turbulence induite par les haies qui le précèdent), et l'effet de l'aménagement régional qui se traduit par une réduction générale du vent sur toute la parcelle [4].

Figure 5 **REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DES EFFETS AÉRODYNAMIQUES D'UN BRISE-VENT SITUÉ À L'INTÉRIEUR D'UN RÉSEAU DE PROTECTION**
[1] [2]

B.V. emplacement
du brise-vent



LES EFFETS MICROCLIMATIQUES DES BRISE-VENT ET DES RÉSEAUX DE PROTECTION

Les facteurs du microclimat résultent à chaque instant de l'équilibre qui s'établit entre les différentes formes d'échange d'énergie au niveau de la surface du sol ou d'un couvert végétal. Les brise-vent, en modifiant la vitesse du vent au voisinage du sol et les échanges radiatifs, modifient l'ensemble des facteurs du microclimat [1] [2].

Dans une zone plane et homogène, les variations des facteurs climatiques sont uniquement fonction de l'altitude Z. Leur stratification, en fonction de Z, dépend de la vitesse du vent, des échanges radiatifs et de l'eau disponible pour l'évapotranspiration de la végétation. Au voisinage d'un brise-vent, il vient s'ajouter à cette variation selon la verticale, une variation dans le plan horizontal qui est principalement liée à la réduction de la vitesse du vent et à la modification des échanges radiatifs.

Dans le domaine forestier, deux effets microclimatiques des brise-vent nous intéressent plus particulièrement : ce sont les effets sur la température et sur l'évapotranspiration.

Les effets des brise-vent sur les températures à l'échelle de la parcelle

Les effets des brise-vent sur les températures de l'air et du sol sont très complexes. Ils dépendent entre autres de la distance au brise-vent, du bilan radiatif, du bilan hydrique et de la vitesse du vent.

● Les effets des brise-vent sur les températures diurnes

En période diurne, on observe généralement une élévation de la température de l'air dans la zone protégée. Elle passe par un maximum à une distance du rideau d'arbres qui est comprise entre 2 et 3 H et qui coïncide avec le minimum de vent. Plus près du brise-vent, les températures sont généralement plus faibles à cause de l'ombrage des arbres et du brassage de l'air qui peut être plus intense.

À l'intérieur d'un réseau de brise-vent, on constate généralement un rabattement de l'écoulement de l'air vers le sol à une distance égale à 6 à 7 H. Dans cette zone le brassage de l'air est

plus intense, ce qui peut conduire à des températures égales ou légèrement inférieures à celles qui sont mesurées en zone témoin.

En climat humide, les élévations maximales de température qui sont observées sont de l'ordre de 2°C. En conditions sèches, les élévations de température sont plus fortes et peuvent atteindre 4°C (Sud tunisien par temps de sirocco). Cependant, dans les régions où le facteur eau est limitant, il existe une interaction entre l'activité du couvert végétal et la température de l'air.

● *Les effets des brise-vent sur les températures nocturnes*

Au cours de la nuit, le ralentissement de la vitesse du vent dans la zone protégée s'accompagne d'un abaissement de la température de l'air. Il est maximum à une distance comprise entre 3 et 5 H. Cet abaissement est de l'ordre de 1 à 3°C.

Au voisinage immédiat du brise-vent, les arbres limitent le refroidissement nocturne en masquant une partie du ciel qui a une température apparente beaucoup plus basse que celle des végétaux. Ainsi, jusqu'à une distance égale à 2 H, on observe une élévation de température de 1 à 2°C.

En période nocturne, les effets des brise-vent dépendent uniquement de l'humidité de l'air. Lorsque l'air est humide, la température apparente du ciel est relativement élevée et l'amplitude des effets thermiques des brise-vent est limitée. Par contre, lorsque l'air est sec, la température apparente du ciel est basse (elle peut atteindre - 40°C) et les écarts thermiques peuvent être importants. On peut ainsi observer des abaissements de température, par rapport à un témoin, de 2 à 3°C à une distance égale à 3 à 5 H.

Ainsi, les brise-vent ont pour effets d'accroître les amplitudes thermiques en augmentant les maxima et en diminuant les minima de température de la zone qu'ils protègent. En conditions sèches, les brise-vent, en accroissant les maxima de température, peuvent donc avoir un effet néfaste et favoriser le départ du feu.

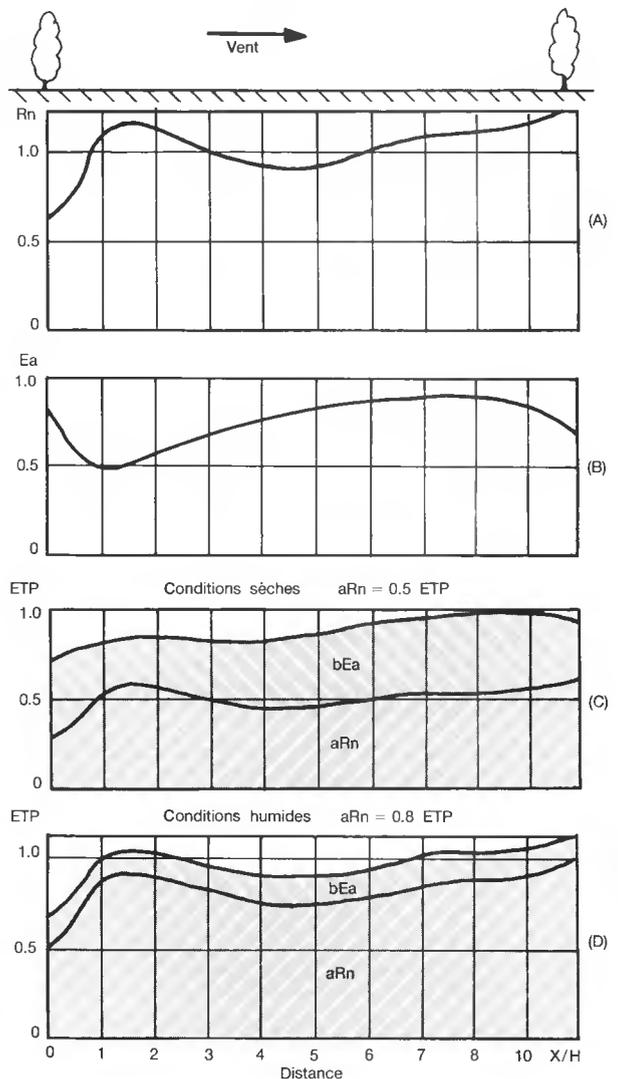


Figure 6
**RÉPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DES EFFETS
 DES BRISE-VENT SUR L'ETP ET SES
 COMPOSANTES**

En conditions sèches, la figure est établie dans le cas où aR_n et bE_a représentent chacun 50 % de l'ETP. En conditions humides, on suppose que aR_n représente 80 % de l'ETP et bE_a 20 % [1] [2].

Les effets des brise-vent sur l'évapotranspiration à l'échelle de la parcelle

• *Les effets des brise-vent sur l'évapotranspiration potentielle*

L'évapotranspiration potentielle (ETP), quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par un couvert végétal en phase active de croissance et parfaitement alimenté en eau, peut s'exprimer comme la somme de deux termes :

$$ETP = aR_n + bE_a$$

avec :

- R_n : rayonnement net (bilan des échanges de rayonnement de courte et de grande longueur d'onde de la surface du sol) ;
- E_a : pouvoir évaporant de l'air, fonction de la vitesse du vent et de l'humidité de l'air ;
- a et b sont des constantes.

L'effet essentiel d'un brise-vent porte sur le terme advectif bE_a (énergie apportée par le vent), le terme radiatif aR_n étant beaucoup moins affecté. La réduction de l'ETP dépendra donc du poids relatif de ces deux termes.

La figure 6 (ci-contre) représente les effets des brise-vent sur l'ETP à l'intérieur d'une parcelle [1] [2]. En A est représenté l'effet sur le bilan radiatif. En B est représenté le terme advectif, la forme de la courbe tracée est semblable à celle de l'évolution de la vitesse du vent en fonction de la distance au brise-vent. La partie C est la résultante de l'addition des deux termes $aR_n + bE_a$. Nous voyons ainsi que les brise-vent réduisent l'ETP, mais beaucoup moins que ne l'est le pouvoir évaporant de l'air.

En conditions humides, l'advection est faible car l'évapotranspiration réelle (ETR) est proche de l'ETP. Dans ces conditions, la contribution du terme bE_a à l'ETP est faible (de l'ordre de 20 %) et sa réduction par un brise-vent n'entraîne que peu de modification de l'ETP, comme le montre la figure 6D.

En conditions sèches, par contre, le poids relatif du terme bE_a est important (40 à 60 %) et toute réduction de E_a sera sensible sur l'ETP. Ainsi, une réduction du pouvoir évaporant de l'air de 30 % se traduira par une réduction de l'ETP de l'ordre de 15 %.

• *Effet des brise-vent sur l'évapotranspiration réelle*

Au niveau de l'ETR, l'effet d'un brise-vent dépend de la contrainte hydrique que subissent les plantes.

- Lorsque la contrainte hydrique est faible, l'ETR comme l'ETP ne sont pratiquement pas affectées.
- Lorsque la contrainte hydrique est modérée, la valeur maximale de l'ETP est supérieure au débit d'eau que les plantes sont susceptibles de fournir aux heures chaudes de la journée. Les plantes luttent alors contre le dessèchement en fermant partiellement ou totalement leurs stomates. Le brise-vent peut alors créer des conditions plus favorables aux plantes en réduisant l'ETP. La quantité d'eau consommée est réduite et la production végétale est augmentée (allongement de la période du jour pendant laquelle la photosynthèse est active).
- Lorsque la contrainte hydrique est forte, l'ETP est nettement supérieure au débit maximum d'eau que les plantes sont susceptibles de fournir. Elles peuvent alors fermer complètement leurs stomates dans une zone ouverte alors que dans la zone protégée par un brise-vent, la réduction de l'ETP peut leur permettre de continuer à transpirer. Dans de telles conditions, un brise-vent a pour effet d'augmenter l'ETR et d'abaisser la température de l'air. Il faut ainsi noter que, dans ces conditions, le brise-vent a pour effet de conduire à un épuisement plus rapide des réserves d'eau du sol, comparativement à une zone ouverte. L'effet du brise-vent n'est donc positif que si les périodes sèches ne sont pas trop longues comparativement aux réserves d'eau du sol.
- Lorsque la contrainte hydrique est très forte, les plantes ferment leurs stomates aussi bien dans la zone ouverte que dans la zone protégée. Le brise-vent n'a alors pratiquement plus d'effet sur l'ETR. Mais la vitesse du vent étant réduite dans la zone protégée, la température des végétaux s'élève pour pouvoir évacuer la chaleur reçue. Le brise-vent a alors un effet néfaste sur la végétation.

● *L'évapotranspiration propre du brise-vent*

Les brise-vent captent plus d'énergie qu'une végétation basse à cause de leur port dressé. Ils interceptent plus d'énergie solaire et surtout ils reçoivent plus d'énergie advective qu'une végétation basse qui occuperait la même surface. On peut ainsi estimer que l'ETP moyenne d'une bande forestière de 15 m de haut et de 30 m de large est de l'ordre de 1,5 à 2 fois celle de la même surface occupée par une végétation basse. Si le brise-vent est plus large, l'accroissement de l'ETP sera moindre ; par contre, s'il est plus étroit, l'ETP pourra être multipliée par 2 ou 3 (il faut cependant remarquer que cet accroissement se manifesterait sur une surface plus faible).

Considérons des brise-vent de 15 m de haut, de 30 m de large, espacés de 250 m. S'ils réduisent en moyenne l'ETP de 10 % sur la zone protégée et s'ils consomment 1,5 fois plus d'eau qu'une végétation basse, la réduction de l'ETP par l'ensemble du système est alors de 4 %.

Il faut donc remarquer qu'au niveau du bilan hydrique global de la parcelle et de son système de protection, la présence des brise-vent n'aura pas d'effet significatif.

Les effets des réseaux de protection sur les températures

Les effets d'un réseau de protection sur les températures de l'air et du sol résultent de deux mécanismes différents : la réduction de la vitesse du vent et la modification du bilan radiatif.

Nous avons vu que les brise-vent, en réduisant la vitesse du vent, ont généralement pour effet d'accroître les températures maximales et d'abaisser les températures minimales. Au niveau régional, vient se superposer l'effet « piège à lumière » des brise-vent qui accroît la quantité de rayonnement solaire qui est captée [6]. En effet, le rayonnement solaire qui est réfléchi par la végétation basse et qui est habituellement renvoyé vers l'espace, peut être capté par les rideaux d'arbres voisins et partiellement renvoyé vers le sol.

Lorsque les rideaux d'arbres (ou les bouquets d'arbres) sont très espacés, l'albédo régional (albédo : fraction du rayonnement solaire réfléchi par le sol et la végétation) est alors égal à celui de la végétation basse. Lorsqu'ils sont très proches, l'albédo est alors celui d'un massif forestier continu dont l'albédo est celui des rideaux d'arbres. Entre ces deux extrêmes, l'albédo régional passe par un minimum lorsque la distance D entre les brise-vent est telle que $D/H = 0,6$. Si on prend un albédo de la végétation basse et des haies égal à 20 %, on constate sur la figure 7 (ci-dessous) qu'il devient, par exemple, égal à 16 % pour $D/H = 5$.

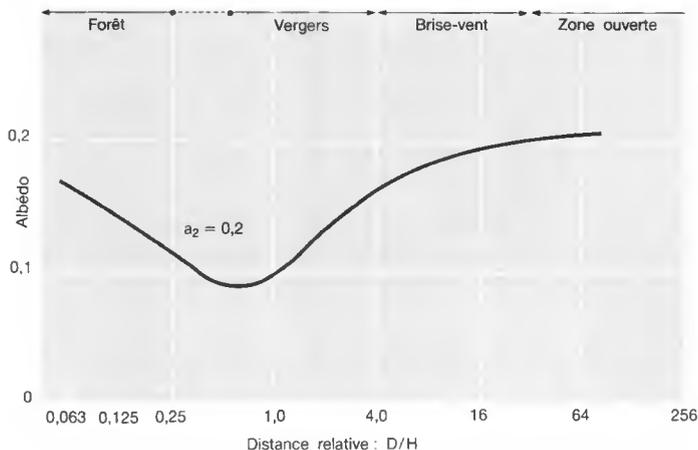


Figure 7
VARIATION DE L'ALBÉDO RÉGIONAL
EN FONCTION DE L'ESPACEMENT
DES BRISE-VENT SUCCESSIFS.
RÉSULTATS D'UNE SIMULATION SUR
MODÈLE [5]



Photo INRA - Antibes

Plantation brise-vent en bordure d'une coupure de combustible (Estérel)

La diminution de l'albédo a pour conséquence un accroissement du rayonnement net R_n qui est de 3 % pour $D/H = 8$, 6 % pour $D/H = 5$ et 19 % pour $D/H = 0,6$. La forêt ouverte et les bandes boisées vont donc créer un microclimat particulier avec des températures diurnes plus élevées que dans une zone dégagée et que dans un massif forestier dense.

Les effets des réseaux de protection sur l'évapotranspiration

Il n'existe pas à l'heure actuelle de mesure permettant de connaître l'effet d'un aménagement régional sur l'ETP. Cependant, on peut montrer [7] que l'accroissement de la rugosité régionale permet de diminuer le terme advectif bE_a de l'ETP. Ainsi, si on prend comme référence le pouvoir évaporant de l'air pour une rugosité du sol équivalente à celle d'une prairie, il peut être réduit de 50 % lorsqu'on passe à la rugosité créée par un réseau dense de brise-vent, l'importance de la réduction de l'ETP dépendant du poids du terme bE_a dans celle-ci.

Ainsi, si à l'échelle locale, l'ETP globale de la parcelle protégée et de son système de protection est peu différente de celle d'une zone ouverte, par contre lorsque l'on considère un vaste réseau de protection, on peut avoir une réduction sensible de l'ETP.

VERS UNE SYLVICULTURE DES MASSIFS FORESTIERS

Les incendies de forêts se produisent généralement au cours de périodes sèches. Nous ne discuterons donc des effets des brise-vent ou de « la rugosité du paysage » que dans ces conditions où les apports d'énergie advective sont importants.

Deux cas particuliers seront considérés : l'aménagement des pare-feu et coupures de combustible et celui des massifs forestiers continus.

La structure des pare-feu et coupures de combustible

Une bande pare-feu est une bande de terrain, relativement étroite (4 à 10 m), débarrassée de toute végétation, qui passe au travers d'un massif forestier afin d'empêcher ou de limiter la propagation d'un incendie. Les pare-feu servent à la fois à la lutte passive contre les incendies et à la lutte active en facilitant l'approche des équipes et des moyens de lutte.

Une coupure de combustible est une bande de terrain beaucoup plus large (plusieurs dizaines ou centaines de mètres) qui est destinée à arrêter non seulement la propagation des feux courant au sol mais également la propagation de l'incendie par les brandons qui s'échappent des couronnes des arbres lorsqu'elles sont atteintes par le feu.

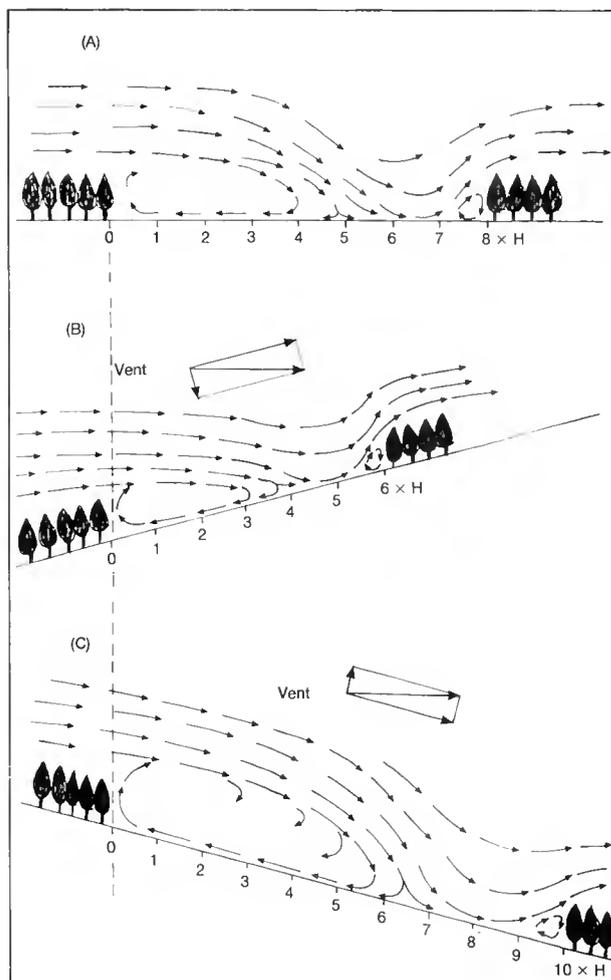
Selon leur conception, un pare-feu ou une coupure de combustible peuvent être considérés simplement comme un moyen d'aide à la lutte active contre les incendies ou comme un moyen passif, capable par lui-même d'arrêter la propagation du feu. C'est ce deuxième aspect que nous allons examiner.

Nous avons vu (figure 2, p. 95) qu'une bande forestière large et *a fortiori* un massif forestier se comportent comme un brise-vent imperméable. Il se forme donc un vaste tourbillon (figure 1A p. 94) sous le vent de la forêt. Le vent se rabat au sol à une distance qui est comprise entre 4 et 6 fois leur hauteur. Les flammèches transportées par le vent tomberont donc principalement dans cette zone. Aussi, si l'on veut piéger la plus grande partie des matériaux incendiaires, il faudra qu'une coupure de combustible ait une largeur égale à au moins 7 fois la hauteur des arbres, car il faut tenir compte du soulèvement de l'air par la lisière qui borde l'autre côté de la coupure de combustible.

Ces distances sont valables pour une forêt en terrain plat. Lorsque le relief est accidenté, il faut alors apporter des corrections en fonction de la pente et de l'orientation du vent par rapport à celle-ci. Prenons le cas simple d'un vent arrivant face à l'axe de plus grande pente. Lorsqu'il se dirige dans le sens de la montée, les lignes de courant ont tendance à se resserrer et le vent s'accélère progressivement. Comme le montre la figure 8 (ci-contre), les lignes de courant s'établissent progressivement parallèlement à la pente avec toutefois une tendance à se plaquer au relief. Ainsi, si l'on doit établir une coupure de combustible dans de telles conditions, les distances indiquées pour le terrain plat ne devront pas être fortement réduites pour des pentes qui n'excèdent pas 10 à 15 %. On peut estimer que la largeur de la coupure de combustible devra être au moins égale à 6 fois la hauteur des arbres qui la bordent.

Figure 8
**RÉPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DE
L'ÉCOULEMENT DU VENT AU VOISINAGE
D'UNE COUPURE DE COMBUSTIBLE**

Lorsque le vent souffle sur une pente, le vecteur vent horizontal (non perturbé par le relief) est décomposé en deux composantes : l'une parallèle et l'autre perpendiculaire à la pente.



Pour les pentes plus accentuées, le problème est différent. Si la dénivelée est faible, il n'est pas nécessaire d'installer un pare-feu sur la pente. Si la dénivelée est forte, le vent est en général canalisé par le relief et a alors plutôt tendance à souffler parallèlement au versant et non perpendiculairement.

Lorsque le vent se dirige dans le sens de la descente, les lignes de courant ont alors tendance à s'éloigner de la pente. L'écoulement se dilate. Le rabattement du vent après une lisière se produit alors à une distance plus grande que sur un terrain plat. Pour une pente de 10 %, il faudra au moins une largeur de coupure de combustible égale à 10 fois la hauteur des arbres. Pour les pentes plus fortes, la réduction du vent devient très importante et l'intérêt des pare-feu devra être analysé en fonction des conditions locales.

Il faut, autant que possible, prévoir des pare-feu ou des coupures de combustible sensiblement perpendiculaires à la direction des vents dominants avec une largeur égale à la largeur maximum nécessaire. Comme les vents, même bien établis, peuvent avoir des fluctuations instantanées de direction de $\pm 45^\circ$, il ne faut en aucun cas procéder à une réduction de la largeur des pare-feu pour tenir compte de l'angle que pourrait faire le vent avec la normale à la forêt.

Ces pare-feu passifs (ou coupures de combustible) sont larges et donc coûteux à entretenir. Le meilleur moyen de réduire les coûts d'entretien consiste à les cultiver. Dans la forêt landaise, le terrain est plat et il existe des possibilités d'irrigation ; aussi les pare-feu peuvent-ils être cultivés en maïs. La culture bénéficierait de l'effet brise-vent de la forêt qui l'entoure, ce qui améliorerait sa rentabilité.

Les forêts méditerranéennes sont établies dans les zones de collines ou de montagne avec des reliefs accentués. La seule culture qui peut être envisagée sur des sols très pauvres, encombrés de roches, est la vigne. Mais la rentabilité de cette culture ne sera pas assurée dans toutes les conditions. Il faudra donc compléter le revenu des exploitants par des aides dont le montant devrait rester cependant à un niveau inférieur au coût d'entretien d'un pare-feu non cultivé et nettoyé tous les ans.

L'aménagement des massifs forestiers

Dans un massif forestier, on ne peut pas considérer l'implantation de brise-vent classiques. Il faut seulement s'inspirer de la technique des brise-vent pour imaginer des solutions nouvelles, adaptées aux conditions particulières des milieux forestiers. Deux cas seront ainsi analysés : les forêts exploitées en bandes alternées et les forêts dans lesquelles la strate dominante est peu dense.

● *Exploitation des forêts en bandes alternées*

Le but de ce type d'exploitation est de créer un couvert forestier présentant des variations de niveau importantes, afin d'en accroître la rugosité et de réduire la vitesse du vent au voisinage du sol. Il faut donc que les coupes soient effectuées en bandes perpendiculaires aux vents dominants.

La protection exercée par une bande forestière ne s'étend pas sur une distance supérieure à 10 fois sa hauteur. Il faut donc conseiller cet espacement. Cela correspond, par exemple, pour une forêt de 30 m de haut, à un espacement des bandes de 300 m. Si l'on envisage une exploitation alternée, il faudra conserver aussi des bandes de forêt de 300 m de large.

Un plan d'exploitation différent peut également être envisagé avec des bandes moins larges (100 m par exemple), regroupées par 5 ou 6 et exploitées en rotation. Cela permettrait de maintenir un couvert forestier important tout en accroissant le freinage du vent. On peut également envisager non plus une exploitation en bandes, mais le maintien sur le terrain de bosquets disséminés qui, pour une surface occupée équivalente, auront pratiquement le même effet de freinage que les bandes boisées.

Si de tels aménagements devraient permettre de réduire la vitesse du vent, par contre il ne faut pas s'attendre à ce qu'ils modifient l'ETP et l'ETR de façon appréciable. D'après ce que nous avons vu dans le paragraphe précédent, il ne faut pas non plus s'attendre à un ralentissement sensible de la vitesse de dessèchement de la végétation du sous-étage sauf si elle explore une tranche de sol différente de celle des arbres de haut jet.

● *Cas des forêts dont la strate dominante est peu dense*

Une des particularités des forêts de pins des régions méditerranéennes est d'avoir une strate dominante peu dense, avec des houppiers bien séparés et un sous-étage constitué par les plantes de la garrigue ou du maquis, qui est assez dense et a entre 1 et 3 m de haut. Le feu naît et se propage grâce au sous-étage. Le problème est donc de savoir s'il est possible de rendre le développement initial du feu plus difficile dans cette partie de la forêt en réduisant la vitesse du vent et en ralentissant le dessèchement de la végétation.

L'ensemble des arbres de haut jet introduit une rugosité globale au niveau du massif forestier. Elle entraîne une réduction sensible de la vitesse du vent au niveau du sous-étage (d'au moins 50 %) comparativement à une zone où seule la végétation basse persiste. Dans ces conditions, la composante advective de l'ETP du sous-étage est réduite d'environ 30 %. Du fait de l'ombre portée par l'étage dominant, la composante radiative de l'ETP est également réduite (de façon très grossière : 40 % pour un taux de couverture de 40 %, 60 % pour un taux de couverture de 60 %). Dans le bilan hydrique global de la forêt, il faut tenir compte à la fois de la consommation de l'étage dominant et de celle du sous-étage. Si les arbres dominants sont nettement séparés, ils peuvent consommer jusqu'à 1,5 fois plus d'eau que la même surface de végétation basse.

Ainsi, si l'on considère une forêt méditerranéenne dont l'étage dominant a un taux de couverture de 40 % (arbres ou bouquets d'arbres régulièrement répartis) et si l'on prend une réduction de 45 % de l'ETP du sous-étage et une augmentation de 40 % de l'ETP de l'étage dominant, on constate alors que l'ETP globale est supérieure de 11 % à celle d'une garrigue ou d'un maquis, sans arbres de haut jet et placés dans les mêmes conditions. Avec un couvert forestier plus fermé (taux de couverture 60 %), on arrive alors à des valeurs d'ETP voisines pour les deux types de couverts.

Cela amène donc à conclure qu'il est illusoire de vouloir installer des systèmes brise-vent dans de telles forêts pour essayer de réduire l'ETP.

Par ailleurs, une forêt claire joue le rôle d'un excellent piège à lumière compte tenu de l'espacement des couronnes des arbres. On observera donc des températures de l'air, qui seront plus élevées que dans une zone ouverte. En période estivale, ces élévations pourront atteindre 3 à 4°C, ce qui accroîtra encore les risques d'incendies.

Les forêts claires sont donc potentiellement dangereuses et il paraît extrêmement difficile de pouvoir améliorer la situation. La seule possibilité consisterait à limiter le développement du sous-étage, ce qui réduirait la consommation globale d'eau de la forêt et supprimerait la cause principale de départ des feux.

Dans l'avenir, il vaudrait mieux essayer de remplacer, quand cela est possible, les forêts claires par des forêts au couvert plus dense. Il serait aussi envisageable d'exploiter les forêts claires en bandes de manière à ce que la végétation restante puisse jouer le rôle de brise-vent pour les jeunes plantations denses et leur permette ainsi de commencer leur croissance dans des conditions meilleures que si elles devaient s'implanter à la suite d'une coupe totale.

CONCLUSIONS

Les brise-vent tels qu'ils sont conçus pour les cultures basses ne peuvent pas être utilisés dans les aménagements forestiers. Par contre, les enseignements qui ont été obtenus à partir de leur étude nous ont permis d'envisager certaines solutions applicables à la forêt.

Les études aérodynamiques effectuées sur les brise-vent nous ont ainsi permis de définir la largeur minimale des pare-feu destinés à la lutte passive contre les incendies. Ils doivent être larges (au moins 7 fois la hauteur des arbres en terrain plat), ce qui conduit à envisager des pare-feu cultivés.

Au niveau des massifs forestiers denses, l'exploitation forestière en bandes alternées (ou la subsistance de bouquets d'arbres régulièrement répartis) pourrait être une solution simple pour réduire la vitesse du vent au niveau de toute une région. Par contre, pour les forêts avec une

strate dominante claire et un sous-étage dense, il ne semble pas exister de solution aérodynamique permettant de réduire le risque d'incendie.

Enfin, dans les forêts méditerranéennes, il semble illusoire de vouloir essayer de réduire la consommation d'eau globale de la forêt en utilisant des techniques brise-vent. Le dessèchement du sous-étage ne peut être ralenti que dans la mesure où il explore une tranche de sol plus superficielle que les arbres de haut jet. La réduction de l'évapotranspiration à son niveau peut alors effectivement entraîner un ralentissement du dessèchement des plantes.

G. GUYOT

Directeur de Recherches

Station de Bioclimatologie

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

BP 91

84143 MONTFAVET CEDEX

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GUYOT (G.). — Les effets microclimatiques des brise-vent et des aménagements régionaux. — *Techniques agricoles*, 1170, mars 1989, 27 p.
 - [2] GUYOT (G.), BENSALÈM (B.), DELECOLLE (R.). — Brise-vent et rideaux abris avec référence particulière aux zones sèches. — *Cahiers FAO Conservation*, 15, FAO Rome (Italie), 1987, 385 p.
 - [3] NÄGELI (W.). — Die Windbremsung durch einem grösseren Waldkomplex (Ein Beitrag zum Problem der Schutzstreifenbreite). — *Union internationale des Instituts de Recherches forestières*, 11^e Congrès, Rome 1953, pp. 240-246.
 - [4] GUYOT (G.), SEGUIN (B.). — Influence du bocage sur le climat d'une petite région : résultat des mesures effectuées en Bretagne. — *Agricultural Meteorology*, vol. 19, 1978, pp. 411-430.
 - [5] SEGUIN (B.). — Rugosité du paysage et diffusion atmosphérique. Étude théorique à partir des équations de Sutton. — *Atmospheric Environment*, vol. 7, 1973, pp. 429-442.
 - [6] CHIAPALE (J.-P.). — A numerical model for estimating the modification of heat budget introduced by hedges. — *Proceedings International Conference Heat and Mass Transfer in the Biosphere*. — Dubrovnik, Scriptabook Co., 1975, pp. 457-466.
 - [7] SEGUIN (B.). — Rugosité du paysage et évapotranspiration potentielle. — *Agricultural Meteorology*, vol. 15, 1973, pp. 355-370.
-