

Bocage breton et climat

par G. GUYOT et S. de PARCEVAUX

Station centrale de Bioclimatologie (I.N.R.A.), Versailles

La nature du bocage breton est très variable selon les régions. Les champs qui le constituent sont clos, soit de murettes de pierres, soit de talus de terre plus ou moins hauts, recouverts de végétation plus ou moins arbustive, soit enfin de simples haies vives.

En bord de mer et sur les îles, on trouve généralement les murettes faites de pierres sèches ou de gros galets plats et dont la hauteur peut atteindre un mètre (fig. 1). A Ouessant même, dans les pâtures à moutons, il y a de petites murettes caractéristiques en forme d'étoile à trois branches dont le rôle essentiel est de servir d'abris aux moutons.

A une distance variant de quelques centaines de mètres à un kilomètre à l'intérieur des terres, ces murettes de pierres cèdent la place à des talus, ou levées de terre, souvent appelés « fossés » dans la région (fig. 2). Ces talus sont généralement couverts de fougère aigle ou d'ajonc.

En s'éloignant de la mer, les espèces arbustives (chêne, châtaignier, frêne,...) apparaissent et prennent de plus en plus d'importance avec la distance au rivage. Dans le pays de Léon, les talus atteignent fréquemment une hauteur de 1,50 m à 2 m sans compter la végétation, quand ils sont régulièrement entretenus (fig. 3).

En zone plus continentale (Bassin de Rennes), les levées de terre tendent à disparaître pour céder la place à des haies arbustives taillées d'une manière caractéristique (fig. 4).

Sans entrer dans les détails des hypothèses concernant les origines de ce bocage, cet article voudrait tenter, à la lumière des recherches bioclimatologiques les plus récentes, de faire un bilan des avantages et des inconvénients des influences du bocage breton sur le climat et les microclimats locaux et par là même sur la production agricole.

Ce bocage constitue en effet les mailles d'un réseau de brise-vent dont le premier effet est de réduire la vitesse du vent.

Or le vent représente une source d'énergie non négligeable ; les ingénieurs de l'E.D.F. ont étudié la possibilité d'implanter, dans les régions particulièrement ventées, des centrales éoliennes (SERRA, 1953). La figure 5 représente les résultats de cette étude sur la répartition de l'énergie apportée par le vent, en milliers de kilowatts-heure par mètre carré et par an. Les courbes d'égale énergie présentent des écartements variables selon les régions. Dans les pays de bocage, les courbes sont très resserrées, tandis que dans



Fig. 1. — Murette de pierre à la pointe Saint-Mathieu



Fig. 2. — Talus dans la région de Saint-Pol-de-Léon

(Photos Guyot et de Parcevaux)



Fig. 3. — Talus boisé dans le Pays de Léon



Fig. 4. — Haie vive dans le bassin de Rennes

(Photos Guyot et de Parcevaux)

les plaines ouvertes comme la Beauce ou les plaines du Nord, la réduction du vent est beaucoup plus lente.

Cette remarque met en évidence le grand rôle joué par la rugosité du paysage à l'échelle régionale. Mais ce n'est pas le seul facteur qui agisse sur la vitesse du vent. La topographie modifie également la vitesse du vent au sol et la présence de montagnes provoque un accroissement de vitesse dû à un effet semblable à celui de Venturi.

Le point de vue de l'agriculteur est toutefois assez différent de celui de l'ingénieur chargé de construire une centrale éolienne. Tandis que ce dernier recherche les vents les plus forts, l'autre essaye au contraire de les éviter.

Les effets mécaniques du vent sur les cultures sont parfois assez spectaculaires dans l'Ouest et les arbres tordus par le vent sont bien connus le long des côtes bretonnes (fig. 6). Mais il y a d'autres effets microclimatiques qui, bien que moins visibles, ont des conséquences néfastes pour l'agriculture. Le vent, comme on pourra le voir plus loin, joue en effet un rôle très important dans l'alimentation en eau des cultures.

Diverses raisons de nature très différente ont probablement présidé à l'établissement du bocage breton, mais les agriculteurs de l'Ouest ont établi, peut-être sans le savoir, un magnifique réseau de brise-vent. Il n'est certes pas sans défaut, mais il présente cependant un certain nombre d'avantages, qu'il est nécessaire de bien connaître si des modifications souvent utiles et nécessaires sont envisagées et a fortiori, avant toute suppression systématique.

Afin de bien comprendre les effets microclimatiques des talus boisés de l'Ouest sur l'alimentation en eau des cultures, il est d'abord nécessaire de rappeler la façon dont les recherches récentes permettent de concevoir ce problème.

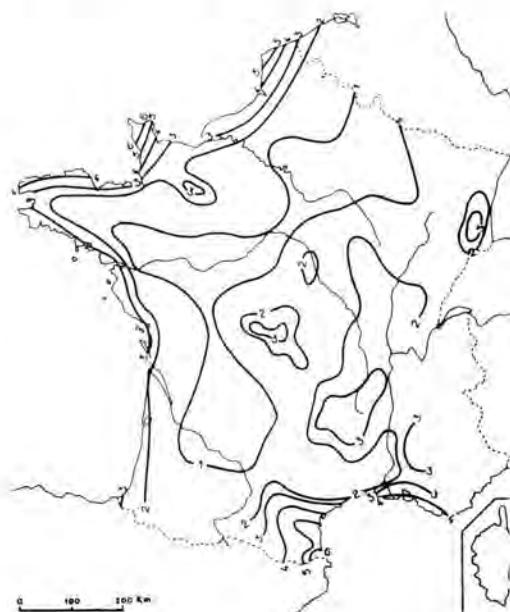


Fig. 5. — Répartition de l'énergie apportée par le vent en kilowatts/heure par mètre carré et par an (d'après SERBA)

*LE PROBLEME DE L'ALIMENTATION EN EAU DES CULTURES,
CONCEPTIONS CLASSIQUES ET RECENTES.*

CONCEPTIONS CLASSIQUES DU PROBLÈME DE L'EAU

Jusqu'à présent la plante a été considérée le plus souvent comme une simple mèche évaporante servant au transfert de l'eau du sol dans l'atmosphère.

Dans ces conditions, il est possible de définir une évapotranspiration potentielle (ETP) égale à la somme de l'évaporation et de la transpiration d'un couvert végétal abondant, homogène, en phase active de croissance et bien pourvu en eau. Elle est déterminée par l'énergie disponible au niveau du feuillage et est indépendante de la nature du couvert végétal.



Fig. 6. — Pins déformés par le vent

(Photo Guyot et de Parcevaux)

Cette quantité d'eau est fournie par les pluies P et par les réserves du sol. Mais comment sont définies ces réserves du sol ? Pour un végétal, il existe deux humidités caractéristiques : la capacité de rétention qui correspond au sol ressuyé après avoir été gorgé d'eau, et le point de flétrissement permanent à partir duquel la vie de la plante n'est plus possible. La quantité d'eau

retenue par le sol, entre ces deux humidités et qui est proportionnelle à la profondeur de celui-ci, constitue la réserve utile RU. Elle est très variable d'un sol à un autre et il est commode de l'exprimer en hauteur d'eau équivalente (1). Elle peut être, par exemple, sur 1 m de profondeur, de 25 mm pour un sol constitué d'éléments grossiers, tandis que sur un sol de limon, elle peut dépasser 200 mm. Elle dépend donc également de la profondeur du sol.

En période relativement sèche, la quantité d'eau ETP-P est prélevée sur les réserves du sol. On conçoit que lorsque celles-ci diminuent, la plante éprouve de plus en plus de difficulté pour s'alimenter en eau. L'évapotranspiration réelle du couvert végétal ETR devient alors inférieure à ETP et nous verrons plus loin que la réduction de ETR par rapport à ETP se traduit par une baisse de rendement. Dans ces conditions, c'est une partie seulement de la réserve utile qui sera consommée : cette fraction de RU est appelée la réserve facilement utilisable RFU.

La connaissance de RU et RFU présente, pour l'irrigant, un guide précieux qui lui permettra de déterminer le moment où il doit arroser. Aussi de nombreux travaux ont été effectués pour déterminer cette fraction de RU : c'est-à-dire RFU. Mais bien souvent les résultats obtenus ont été décevants, car dans tout ce qu'il vient d'être dit, les réactions physiologiques de la plante n'ont pas été considérées. Ainsi nous verrons que des plantes « ayant les pieds dans l'eau » peuvent très bien souffrir de la sécheresse.

CONCEPTIONS RÉCENTES DU PROBLÈME DE L'EAU NOTIONS D'OFFRE ET DE DEMANDE INSTANTANÉES

La demande ou évapotranspiration instantanée.

A l'échelle géographique, il est assez facile de déterminer l'évapotranspiration potentielle qui ne dépend, pour l'essentiel, que de l'énergie reçue, provenant du soleil et du ciel. De nombreuses formules permettent de l'évaluer à l'échelle du mois ou de l'année, à partir des données climatiques. Par exemple, en France, des cartes mensuelles de ETP ont été établies par le Génie Rural à partir de la formule de TURC (2).

Mais ETP à l'échelle géographique ne représente qu'une valeur moyenne et, lorsque l'on passe à l'échelle agronomique (quelques dizaines d'hectares), des fluctuations très importantes autour de cette moyenne sont observées. En effet, la présence d'un chaume de blé, par exemple, peut occasionner un accroissement de ETP sur un champ de betteraves voisin. De même ETP sera très différente selon que sa mesure sera faite dans un vallon humide ou sur un plateau venté.

Par ailleurs, ETP varie au cours de la journée. Nulle au lever du jour en région subhumide, elle passe par un maximum vers midi (fig. 7). D'autre part, pour une même valeur de ETP jour-

(1) L'eau contenue dans le sol est supposée extraite de celui-ci et répartie en une lame uniforme à sa surface : l'épaisseur de cette lame constitue la hauteur d'eau équivalente. 1 mm = 10 m³/ha.

(2) TURC L., 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle. Formule simplifiée et mise à jour. Ann. Agron. 12 (1), 13-49.

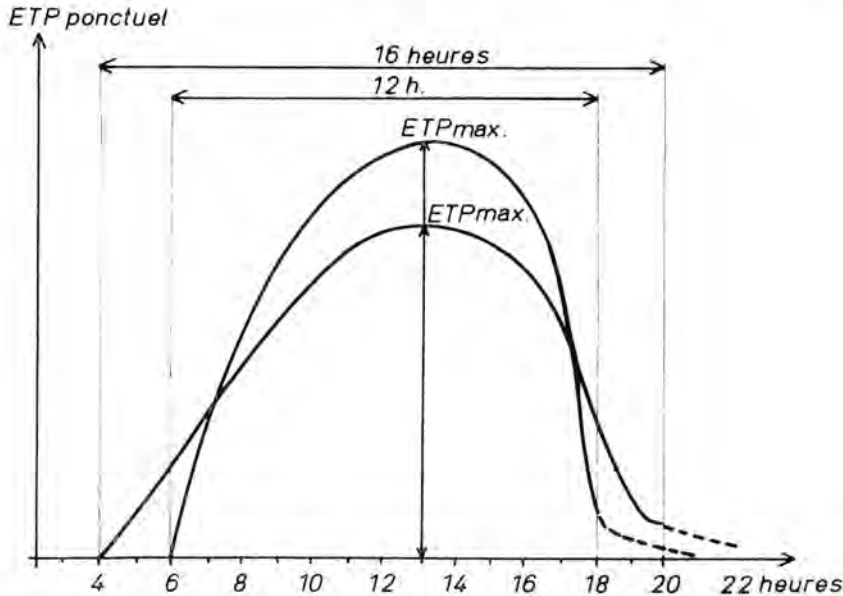


Fig. 7. — Schéma montrant que, pour une même valeur moyenne de ETP, la valeur instantanée de celle-ci dépend de la durée du jour

nalière, le maximum sera d'autant moins accentué que la durée du jour sera plus grande.

Pour la plante, le phénomène important n'est pas la valeur moyenne de ETP, mais sa valeur instantanée. En effet, ETP instantanée représente la quantité d'eau que les facteurs climatiques demandent à la plante. Mais cette demande d'eau est-elle satisfaite à tout moment ?

L'offre au niveau de la surface foliaire.

La plante, comme tout être vivant, est soumise à certaines conditions vitales impérieuses. Le flux d'eau qui chemine du sol jusque dans l'atmosphère en passant par la plante subit toute une série de pertes de charge : tout d'abord dans le sol, puis au moment de la pénétration dans les racines, puis dans les vaisseaux conducteurs et enfin dans les feuilles. Ces pertes de charge augmentent avec le débit ; or la pression de succion, moteur du mouvement, a une valeur limitée par la physiologie de la plante. Celle-ci ne peut donc assurer que le transfert par unité de temps d'une quantité d'eau limitée Q_{max} .

La demande d'eau varie au cours de la journée ; l'offre est limitée par une valeur maximale (Q_{max}).

Que doit-il donc se passer au cours de la journée ?

LES CONSÉQUENCES AGRONOMIQUES DE L'ÉQUILIBRE ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN EAU

En général, dans nos régions, la quantité d'eau Q_{max} que les plantes sont susceptibles de transférer, au cours de l'été, est inférieure à ETP_{max} .

La figure 8 représente, de manière schématique, ces conditions. Le végétal est susceptible de fournir une quantité d'eau égale à l'évapotranspiration potentielle instantanée. La plante ne peut donc satisfaire ces exigences que pendant une partie de la journée : lorsque ETP est inférieure ou au plus égale à Q_{max} ; pendant l'autre partie, il existe un déséquilibre entre l'offre et la demande en eau.

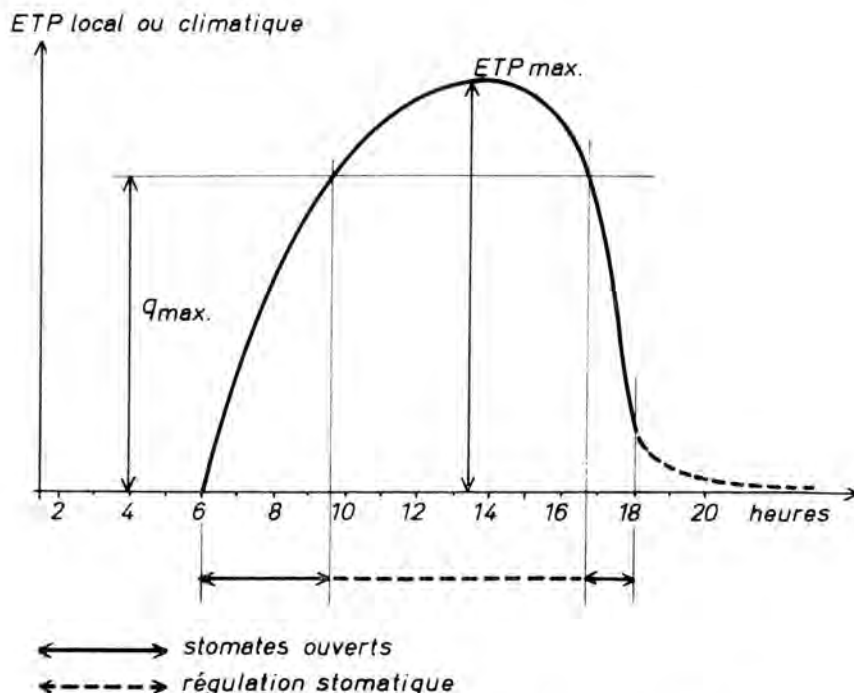


Fig. 8. — Schéma indiquant la variation journalière de ETP et son effet sur la régulation stomatique

Lorsque la quantité d'eau demandée à la plante est supérieure à Q_{max} , elle réagit contre le dessèchement par la fermeture partielle ou totale de ses stomates qui s'accompagne d'un ralentissement ou d'un arrêt de la photosynthèse. En effet, les stomates assurent à la fois les échanges de vapeur d'eau et de gaz carbonique. La réduction des pertes d'eau s'accompagne donc d'un ralentissement des échanges de gaz carbonique.

Ainsi, la production de matière sèche se trouve ralentie ou même stoppée au moment où elle devrait être maximale car, en général, ce phénomène se produit lorsque l'énergie solaire reçue est la plus grande.

En conclusion, l'état de sécheresse physiologique, avec ses conséquences sur le plan de la production, apparaît non seulement lorsque les réserves du sol sont épuisées, mais de manière beaucoup plus générale, chaque fois qu'il existe un déséquilibre entre l'offre et la demande d'eau. Il peut ainsi se manifester même lorsque les conditions d'humidité du sol sont satisfaisantes.

Un moyen d'accroître la production agricole est donc de réduire ce déséquilibre, soit en augmentant l'offre, soit en dimi-

nuant la demande, soit encore en agissant sur les deux facteurs à la fois.

LES MOYENS D'ACTION DE L'HOMME SUR L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES VÉGÉTAUX.

L'IRRIGATION

Un des premiers moyens d'accroître la production est d'augmenter le débit instantané des végétaux $Q_{\max}$. Pour cela, il faut que la plante puisse trouver plus facilement l'eau dont elle a besoin dans le sol. La solution à ce problème avait déjà été trouvée par les agriculteurs depuis des millénaires : c'est l'irrigation.

Pour que la plante soit toujours dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique, il faudrait que le sol contienne toujours au moins la RFU. Or celle-ci est une grandeur essentiellement variable pour un même sol, un même lieu et une même culture. En effet, la RFU est la partie de la RU telle que la plante puisse fournir toute l'eau que lui demandent les facteurs climatiques. Mais nous avons vu que l'état de sécheresse physiologique apparaît non seulement lorsque les réserves du sol sont épuisées, mais également chaque fois que ETP instantanée atteint des valeurs suffisamment élevées.

Aussi la RFU augmente quand ETP instantanée diminue et elle sera plus importante dans le bocage de l'Ouest que sur un plateau venté par exemple. Par ailleurs, elle dépend également de la profondeur et de l'importance du système racinaire qui peuvent varier dans de larges proportions, en particulier selon les conditions climatiques d'une année à l'autre.

Cette grandeur que l'on s'efforce de définir de manière empirique, apparaît, en fait, insaisissable. Sa connaissance présente certes un grand intérêt et l'on sait qu'en moyenne et sous nos climats, RFU est de l'ordre de 50 % de RU. Mais plutôt que de vouloir la déterminer exactement, il serait peut-être préférable de chercher des moyens susceptibles de l'accroître.

Ceux-ci pourraient consister, par exemple, en une réduction de la demande d'eau au niveau de la surface foliaire. Pour cela, il existe actuellement deux moyens : les brise-vent et les cultures associées.

LES BRISE-VENT

Les brise-vent qui ont pour effet de réduire la vitesse du vent, réduisent par là même ETP et permettent ainsi un accroissement de la production. Mais pour bien comprendre ces différentes influences, il est nécessaire tout d'abord d'étudier leurs effets mécaniques.

A. Les effets mécaniques des brise-vent

La destination première d'un brise-vent est donc la réduction de la vitesse du vent. Mais, selon le type d'abri, la longueur de la zone protégée varie dans de très larges proportions. En général, la longueur de la zone protégée par un brise-vent est proportionnelle à la hauteur de celui-ci ; aussi, afin de pouvoir effectuer commo-

dément des comparaisons entre différents rideaux protecteurs, leur hauteur a été prise comme unité de mesure de la longueur de la zone protégée.

Les effets de la perméabilité d'un brise-vent sur la zone protégée

Pour deux brise-vent de même hauteur, la longueur de la zone qu'ils protègent dépend de leur perméabilité.

La perméabilité est, pour un brise-vent sans épaisseur, le rapport de la surface des trous supposés régulièrement répartis à la surface frontale totale.

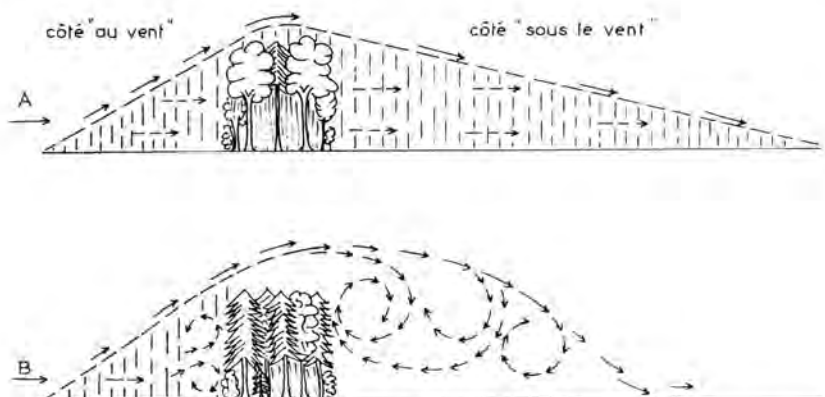


Fig. 9. — Effet d'un brise-vent sur le vent
A. Brise-vent semi-perméable B. Brise-vent imperméable
(d'après CABORN)

La figure 9 met en évidence le rôle important joué par la perméabilité d'un rideau protecteur.

Un brise-vent délimite deux zones : une zone « au vent » située du côté d'où vient le vent et une zone « sous le vent » située du côté où va le vent. Lorsqu'un flux d'air rencontre un tel obstacle, il se forme de part et d'autre, un coussin d'air à vitesse ralentie, en état de surpression du côté au vent et de dépression du côté sous le vent. Sous l'effet de cette différence de pression une partie du flux d'air incident filtre à travers le brise-vent, l'autre contourne l'obstacle, vitesse et direction ne redevenant normales qu'à une certaine distance du rideau perturbateur.

La différence de pression entre la partie « au vent » et la partie « sous le vent » est d'autant plus accentuée que le brise-vent est moins perméable et il arrive un moment où la dépression est suffisante pour créer un appel d'air et provoquer ainsi des tourbillons qui limitent l'extension de la zone protégée, tandis que si une partie de l'air peut filtrer à travers le brise-vent, le minimum de vitesse est certainement moins accentué, mais la protection se fait sentir sur une plus grande distance (fig. 9).

La perméabilité optimale a été établie par des mesures en souffleries et sur le terrain et elle est de l'ordre de 50 %.

Les figures 10 et 11 représentent des courbes de réduction de la vitesse du vent à différents niveaux pour deux types de brise-vent : l'un semi-perméable, l'autre dense. Elles permettent de constater que, si derrière un brise-vent dense, le minimum de

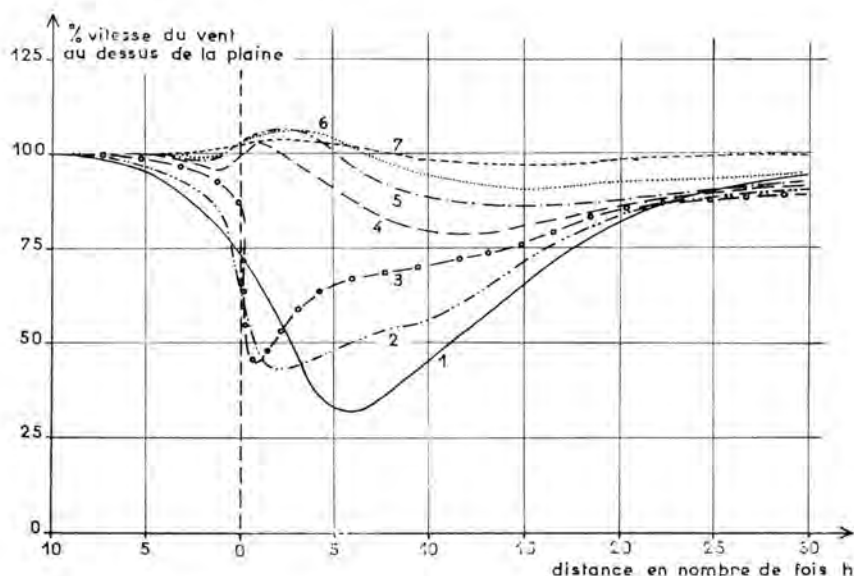


Fig. 10. — Ralentissement du vent par une barrière pénétrable de 2.20 m de haut, ayant 45 à 55 % de vides, à différentes hauteurs et à différentes distances.

Hauteurs où les mesures ont été effectuées : (1) 0,55 m ; (2) 1,10 m ; (3) 2,20 m ; (4) 3,30 m ; (5) 4,40 m ; (6) 5,50 m ; (7) 8,80 m ; (d'après NAGELI).

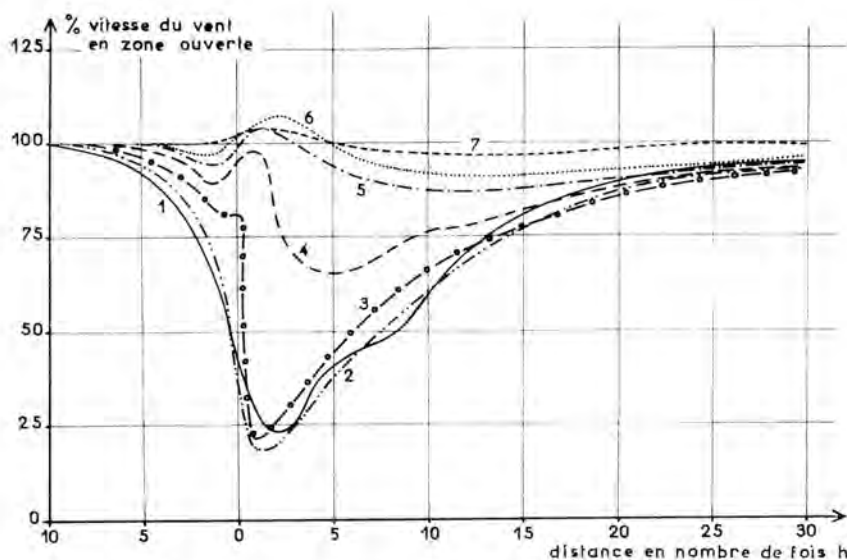


Fig. 11. — Ralentissement du vent par une barrière dense de 2.20 m de haut ayant 15 à 20 % de vides.

Hauteurs où les mesures ont été effectuées : (1) 0,55 m ; (2) 1,10 m ; (3) 2,20 m ; (4) 3,30 m ; (5) 4,40 m ; (6) 5,50 m ; (7) 8,80 m ; (d'après NAGELI).

vitesse est plus accentuée que derrière un brise-vent semi-perméable, la protection se fait sentir sur une beaucoup plus faible distance.

Il faut remarquer également que l'effet d'un brise-vent se fait sentir jusqu'à une hauteur supérieure à la sienne. Ceci peut présenter un grand intérêt lorsqu'il s'agit de protéger un verger.

Dans la réalité, les brise-vent sont rarement constitués par des parois sans épaisseur ; ils sont le plus souvent formés par des arbres ou des buissons. Dans ces conditions, il est très difficile de définir une perméabilité, d'autant plus que celle-ci varie en général avec la vitesse du vent et de manière différente selon l'espèce végétale considérée. Pour des rideaux constitués de feuillus, les feuilles ont tendance à s'orienter parallèlement au vent, ce qui a pour effet d'augmenter la perméabilité. Ainsi un rideau d'arbres paraissant assez dense par vent faible, peut devenir très efficace par vent fort. Par contre, pour des brise-vent constitués par des conifères, les branches ont plus ou moins tendance à se plaquer les unes contre les autres lorsque le vent augmente et la perméabilité diminue ainsi que la protection.

L'épaisseur d'un brise-vent joue également un grand rôle. Mais tout accroissement d'épaisseur se traduit par une diminution de la perméabilité et l'efficacité diminue.

Des expériences ont également été tentées pour donner au brise-vent une forme de coin lui permettant ainsi de dévier le flux d'air incident vers le haut, mais alors il se produit une importante dépression du côté sous le vent qui, par les tourbillons qu'elle crée, diminue la longueur de la zone protégée. Il est donc préférable d'avoir des brise-vent de section pas trop large et rectangulaire.

Il est difficile de donner une valeur pour la longueur de la zone protégée par un brise-vent, cependant il est raisonnable d'admettre qu'un brise-vent dense ne protège pas plus de 6 à 8 fois sa hauteur, tandis qu'un brise-vent semi-perméable protège une fois sa hauteur du côté « au vent » et 20 fois du côté « sous le vent ».

Les effets de la structure du vent sur la zone protégée.

La protection exercée par un brise-vent varie également dans de très larges proportions avec la structure du vent. En effet, on conçoit qu'un rideau protecteur placé dans un écoulement laminaire ou turbulent jouera un rôle différent. Lorsque l'écoulement est laminaire, la composante verticale de la vitesse du vent peut-être considérée comme négligeable. Le flux d'air rencontrant le brise-vent aura beaucoup de difficultés à s'élever pour passer au-dessus de l'obstacle et l'effet de frein sera maximum. D'autre part, les tourbillons qui se produisent derrière le rideau protecteur, et dont l'effet est l'homogénéisation du profil vertical des vitesses, seront beaucoup moins nombreux. Par contre, lorsque l'écoulement est turbulent, l'effet du brise-vent se fait sentir sur une moins grande distance.

Ceci présente une importance capitale ; en effet, avec le même brise-vent, la longueur de la zone protégée peut varier dans la proportion de 1 à 2.

En bordure de mer comme dans les grandes plaines, le vent peut être considéré comme ayant un écoulement laminaire à l'échelle à laquelle on se place. Dans ces conditions, l'effet d'un brise-vent semi-perméable peut se manifester jusqu'à 60 fois sa hauteur (BODROV 1936), tandis que dans les vallées où le vent

est turbulent, un brise-vent identique ne réduit le vent que sur une distance égale au maximum à 30 fois sa hauteur (NAGELI). Maintes études ont été effectuées sur ce sujet et, en particulier au Danemark, en soufflerie (JENSEN 1956) où les mêmes résultats ont été obtenus en faisant varier la rugosité des parois du tunnel.

Ceci est très important dans les régions maritimes de l'Ouest, car selon que l'on voudra se protéger des vents venant de la mer ou de ceux venant de la terre, l'écartement entre les rideaux protecteurs devra être différent. Une protection efficace contre les vents provenant de la mer ne le sera pas forcément contre ceux venant de la terre.

Enfin, il faut noter que la protection exercée par un brise-vent peut varier au cours de la journée. En effet, aux heures chaudes, les basses couches de l'atmosphère sont en état instable car l'air le plus léger est au voisinage de la surface du sol. Il se produit des courants ascendants et le brise-vent facilitant ces mouvements, tout se passe comme si sa perméabilité avait diminué. Par contre, pendant la nuit, le gradient vertical de température est stable et la protection exercée par le brise-vent augmente.

Rugosité du paysage et réduction du vent.

La figure 5 permettait de constater que, dans les zones de bocage, le vent est réduit beaucoup plus rapidement que dans les zones ouvertes. A l'échelle géographique, la rugosité du paysage joue un grand rôle. Une expérience très significative a été effectuée par JENSEN (1954) au Danemark. Dans le Jutland, il a choisi deux lignes de mesures E-W parallèles aux vents dominants. L'une traversait une région de bocage tandis que l'autre était placée dans une région peu boisée. Tandis que le vent était réduit de 50 % après avoir parcouru 10 km depuis la mer dans la zone boisée, cette même réduction n'était atteinte qu'après un parcours de 50 km dans la zone peu boisée.

Les chiffres fournis par cette expérience sont suffisamment démonstratifs pour militer en faveur du maintien d'un certain boisement en Bretagne.

Mais les brise-vent en réduisant la vitesse du vent modifient complètement le microclimat de la zone qu'ils protègent. Il est donc nécessaire d'étudier maintenant les effets des brise-vent sur les autres facteurs microclimatiques.

B. Les autres effets microclimatiques des brise-vent

Les effets des brise-vent sur l'évapotranspiration potentielle.

L'évapotranspiration potentielle correspond à toute l'énergie utilisable pour l'évaporation de l'eau. Cette énergie a deux origines : une partie résulte des phénomènes de rayonnement, l'autre est apportée par le vent.

Un brise-vent n'a pratiquement pas d'action sur les phénomènes de rayonnement, sauf dans la région qui lui est voisine ; par contre, en réduisant la vitesse du vent, il diminue la quantité d'énergie que celui-ci peut apporter.

Les phénomènes d'évaporation sont étroitement liés à la vitesse du vent et les courbes représentant l'effet d'un brise-vent ont une allure semblable à celles représentant la réduction du vent. Ceci a été confirmé par de nombreuses expériences effectuées

tant à l'étranger qu'à Versailles où l'on a constaté qu'un brise-vent de 1,75 m de haut constitué par des lattes de châtaignier de 4 cm de large, espacées de 4 cm, faisait sentir son effet jusqu'à 20 fois sa hauteur (travaux non publiés).

Mais selon le type de brise-vent, le minimum de vitesse du vent et le minimum de ETP ne coïncident pas toujours. En effet, lorsque le brise-vent est constitué d'arbres, ceux-ci humidifient l'air et lorsque la largeur du rideau protecteur augmente, le minimum de ETP s'en rapproche et peut même, dans certain cas, se trouver à l'intérieur.

Nous verrons que c'est surtout grâce à cet effet des brise-vent sur ETP que l'on peut justifier leur emploi dans des régions à climat subhumide.

Les effets des brise-vent sur la température.

Les brise-vent s'opposent aux transports latéraux d'énergie et selon la saison et les cultures, leurs effets peuvent être différents au cours de la journée. Un exemple, très schématique, permettra de bien comprendre cet effet de brise-vent. Considérons un brise-vent situé entre un champ de blé et un champ de betteraves. Au printemps, le champ de betteraves peut être considéré comme un sol nu, tandis que le blé forme un couvert uniforme. L'énergie reçue par le sol nu sert essentiellement à élever sa température et celle de l'air à son contact ; par contre, l'énergie reçue par le champ de blé est en très grande partie utilisée par la transpiration des feuilles. Si le vent souffle du sol nu vers le champ de blé, le brise-vent empêchera l'arrivée d'air sec et chaud sur la culture de blé, et la température de l'air sera plus basse dans la zone protégée que s'il n'y avait pas de brise-vent.

Si le vent souffle dans le sens inverse, il empêchera l'arrivée d'air frais et humide et il produira dans le champ de betteraves une élévation de la température. Mais au mois d'août par exemple, dans ce même cas, alors que le blé sera coupé et que les betteraves couvriront le sol, l'effet du brise-vent sur la température s'inversera : il produira une baisse de la température. Ceci est très important, car un brise-vent peut provoquer un accroissement des gelées nocturnes au printemps.

Mais cependant, dans l'Ouest et en particulier près de la mer, les gelées les plus à craindre sont souvent celles qui sont provoquées par les vents froids soufflant de l'intérieur en hiver. Dans ces conditions, les brise-vent produiront une diminution du risque de gelée.

L'importance des effets d'un rideau protecteur sur la température dépend de sa perméabilité. Les écarts entre zone protégée et zone ouverte sont d'autant plus accentués que le brise-vent est moins perméable. Dans le cas d'un rideau semi-perméable, l'abaissement de température pendant la journée est de l'ordre de 1 à 2° C, la nuit de 1° C. Mais avec des haies imperméables telles que celles du Midi de la France ou d'Afrique du Nord, des élévations de température de l'ordre de 10° C ont pu être constatées pendant la journée qui peuvent alors provoquer de graves brûlures sur les végétaux. En zone moins chaude, ces effets peuvent être au contraire bénéfiques, dans le cas, par exemple, où une maturité plus précoce est recherchée.

Les effets des brise-vent sur l'humidité de l'air.

L'humidité de l'air dépend de la production de vapeur d'eau et de son évacuation par le vent. Le vent étant réduit, un brise-vent augmente en général l'humidité de l'air. Cette augmentation est de l'ordre de quelques pour cent.

Les effets des brise-vent sur la répartition des précipitations.

Les pluies sont en général accompagnées de vent ; la trajectoire des gouttes est inclinée par rapport à la verticale et cela, d'autant plus que la vitesse du vent est plus grande. Ainsi un rideau protecteur intercepte une partie de la pluie destinée à la zone protégée et la quantité d'eau reçue immédiatement du côté sous le vent est plus faible que dans la zone ouverte. Par contre, le ralentissement du vent dans le reste de la zone protégée augmente la quantité d'eau reçue.

Un brise-vent modifie donc la répartition spatiale de la pluie et les écarts entre le minimum près du brise-vent et le maximum dans la partie protégée, voisins de 15 % en moyenne, peuvent atteindre 80 % de la lame d'eau mesurée en rase campagne par vent très fort (KARSCHON 1958).

Les brise-vent modifient également la répartition du dépôt de rosée qui est plus important en zone protégée, le minimum de température nocturne y étant plus accentué. Mais pour une région de bocage, le dépôt total de rosée n'est pas affecté, seule sa répartition spatiale est modifiée.

Les brise-vent interceptent également les gouttelettes en suspension dans l'air et des études japonaises ont montré qu'un brise-vent de 13 m de large pouvait capter jusqu'à 1 mm d'eau par heure (KASHIYAMA, 1958). Ceci est intéressant pour les pays atlantiques car des particules de sel sont interceptées de la même manière.

Les effets des brise-vent sur la teneur de l'air en gaz carbonique.

Les brise-vent, en réduisant ETP, accroissent l'activité photosynthétique des végétaux et, de ce fait, la teneur en gaz carbonique de l'air de la zone protégée est plus faible que celle de la zone ouverte pendant la journée. Pendant la nuit, la réduction de la diffusion des gaz aurait tendance à augmenter légèrement cette teneur.

Brise-vent et climat régional.

Nous avons déjà vu qu'un ensemble de brise-vent, ou un bocage, peut réduire la vitesse du vent à l'échelle régionale. Mais d'autres effets, d'ailleurs assez controversés, sont prêtés aux brise-vent.

L'implantation de rideaux d'arbres ou la présence d'un bocage augmente l'évapotranspiration réelle d'une région car les arbres utilisent les réserves en eau des couches profondes du sol que ne peuvent pas atteindre les autres végétaux. Dans ces conditions, l'énergie utilisable pour élever la température de l'air est plus faible que s'il n'y avait pas d'arbres. Une suppression massive des arbres doit donc provoquer une élévation de la température moyenne annuelle. Ceci a d'ailleurs été constaté en Russie où, dans la région de Moscou, la suppression de 40 millions d'hectares de forêts a produit une élévation de la température moyenne annuelle de 1°C.

La présence de bocage sur des zones étendues et, de façon générale, le boisement, accroissent globalement l'évaporation et élèvent ainsi en altitude la teneur de l'air en vapeur d'eau. Ceci aurait pour effet un accroissement des précipitations mais dans des proportions variables selon les régions (20 à 60 % au Jutland, 10 à 15 % au Tennessee, 5 % en Europe centrale).

C. Brise-vent et production agricole

Cette rapide étude des principaux effets des brise-vent montre qu'ils présentent un certain nombre d'avantages, mais aussi un certain nombre d'inconvénients qui, bien souvent, semblent être la seule chose connue au sujet des brise-vent par les agriculteurs.

Les inconvénients des brise-vent.

Comme inconvénients des brise-vent, il faut signaler :

- l'ombre portée sur une partie du champ protégé
- les compétitions radiculaires près des brise-vent vivants
- l'accroissement du risque de gelée printanière
- l'augmentation de l'humidité de l'air qui, dans certains cas, est susceptible de retarder la maturation et de faciliter le développement de certaines maladies
- dans certains cas, l'accroissement exagéré des maximums de température
- la possibilité d'abriter une flore et une faune parfois nuisibles
- la place perdue pour les cultures

Les avantages des brise-vent.

Les avantages l'emportent généralement sur les inconvénients.

- ils diminuent l'érosion du sol qu'il s'agisse d'érosion éolienne ou d'érosion par ruissellement
- ils limitent le déplacement de certains insectes nuisibles comme les pucerons
- ils permettent, au printemps, un réchauffement plus rapide du sol, car les pertes de chaleur par évaporation et convection sont réduites ; la végétation profite ainsi d'un départ plus rapide. En automne, la maturité est plus rapide

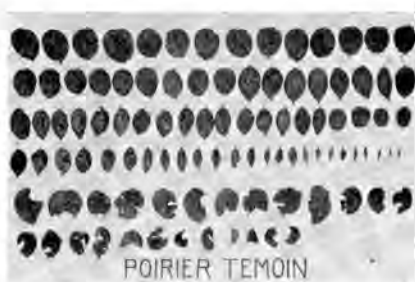


Fig. 12. — 100 feuilles de poirier témoin prélevées au hasard.



Fig. 13. — 100 feuilles de poirier derrière brise-vent prélevées au hasard.

- ils diminuent les dégâts mécaniques causés par le vent aux cultures comme le montrent les figures 12 et 13 relatives à une expérience brise-vent sur un verger de la région parisienne
- mais surtout, ils réduisent l'évapotranspiration potentielle et c'est là, semble-t-il, leur rôle essentiel.

La partie supérieure de la figure 14 représente, d'une part la variation de la demande en eau ETP au moment où elle est maximale, en fonction de la distance au brise-vent, d'autre part la quantité d'eau réellement consommée ou évapotranspiration réelle (ETR). La partie inférieure indique l'évolution journalière de ETP et ETR à différentes distances du brise-vent. La partie (A) correspond à la zone ouverte. En (B), ETP est toujours inférieur à Q_{max} . Dans ces conditions, la quantité de matière sèche synthétisée est maximale. (C) correspond au cas intermédiaire : la régulation stomatique intervient pendant une partie de la journée, mais pendant moins longtemps qu'en zone ouverte.

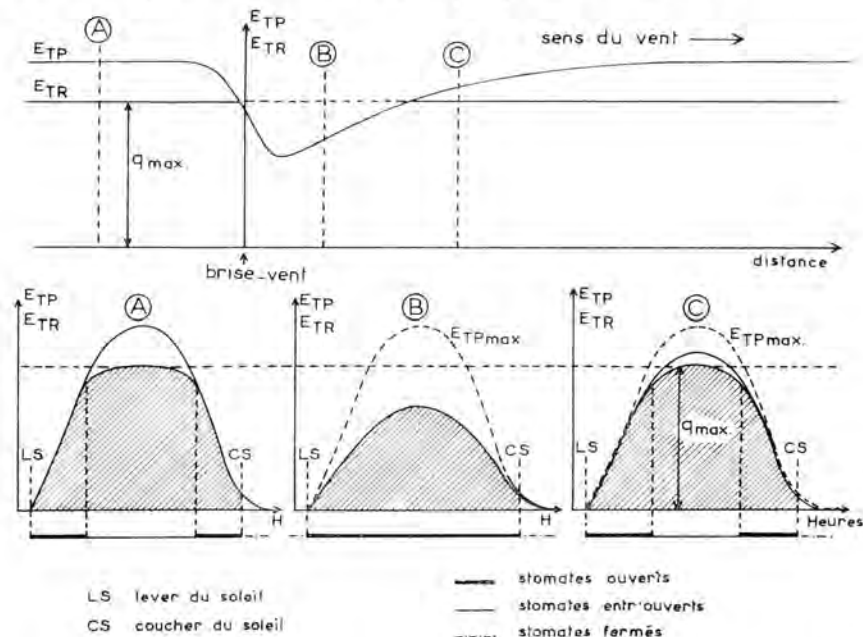


Fig. 14. — Schéma résumant l'effet d'un brise-vent sur le rendement dans une région subhumide. La partie supérieure représente la variation de ETP et ETR en fonction de la distance au brise-vent au moment où ETP est maximale. (A) (B) (C) indiquent la variation journalière de ETP et ETR à différentes distances du brise-vent.

Le rendement étant directement lié à la photosynthèse, il sera donc plus grand en zone protégée qu'en zone ouverte.

Mais sur la figure 14, il faut également remarquer que la comparaison des surfaces hachurées qui, dans une certaine mesure, représentent la quantité d'eau consommée, permet de constater qu'en (B) elle est minimale. Ainsi, un brise-vent provoque non seulement une augmentation du rendement, mais également une diminution de la quantité d'eau consommée.

Il est communément admis que pour faire 1 g de matière sèche, les plantes consomment de 200 à 1.000 g d'eau selon les

cas. Or, il vient d'être montré que pour une même quantité d'eau transpirée, la quantité de matière sèche produite par la même espèce varie selon les conditions d'évapotranspiration et, pour la même production, la quantité d'eau consommée est d'autant plus faible que ETP est plus réduite.

Une expérience effectuée sur blé au Service d'Expérimentation de la Minière, en 1962, (BOUCHET, DE PARCEVAUX, 1962), confirme ces hypothèses comme le montre le tableau suivant :

	Témoin	ETP réduite par brise-vent
Rendement moyen	68,3	78,7
Qx/ha	(100)	(115)
Eau totale réellement consommée mm	413	373
Efficiencia de l'eau :		
Eau totaie consommée	605	470
Poids de grain		

ETP mesuré à la Minière, sur évapotranspiromètre était de 418 mm, soit sensiblement la même quantité d'eau perdue par le témoin qui, malgré cela, avait un rendement assez éloigné de l'optimum puisqu'il a été augmenté de 15 % avec un brise-vent. Des résultats analogues ont été obtenus en 1963 et 1964. La figure 15 montre l'explication que l'on peut donner à ces résultats.

D'autre part, le maximum de rendement doit correspondre au minimum de ETP et doit décroître ensuite. Les courbes expérimentales de la figure 16 ont exactement la forme que l'on avait prévue théoriquement.

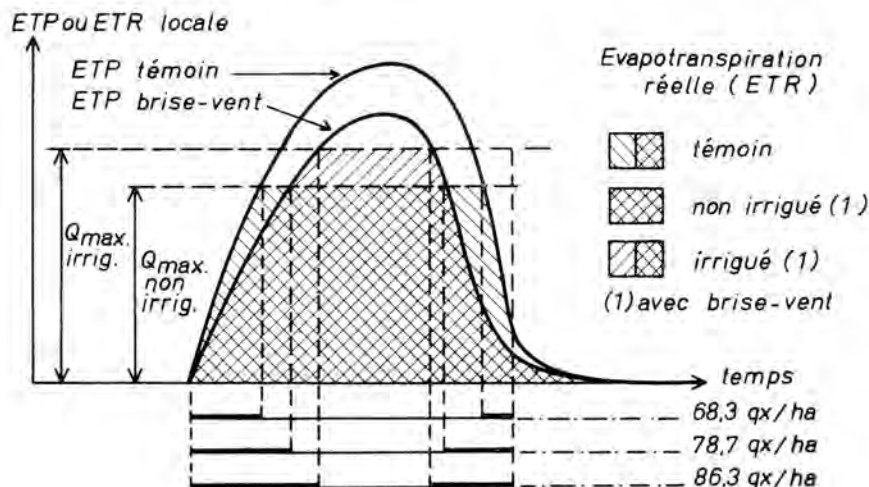


Fig. 15. — Schéma permettant d'expliquer les résultats obtenus à La Minière

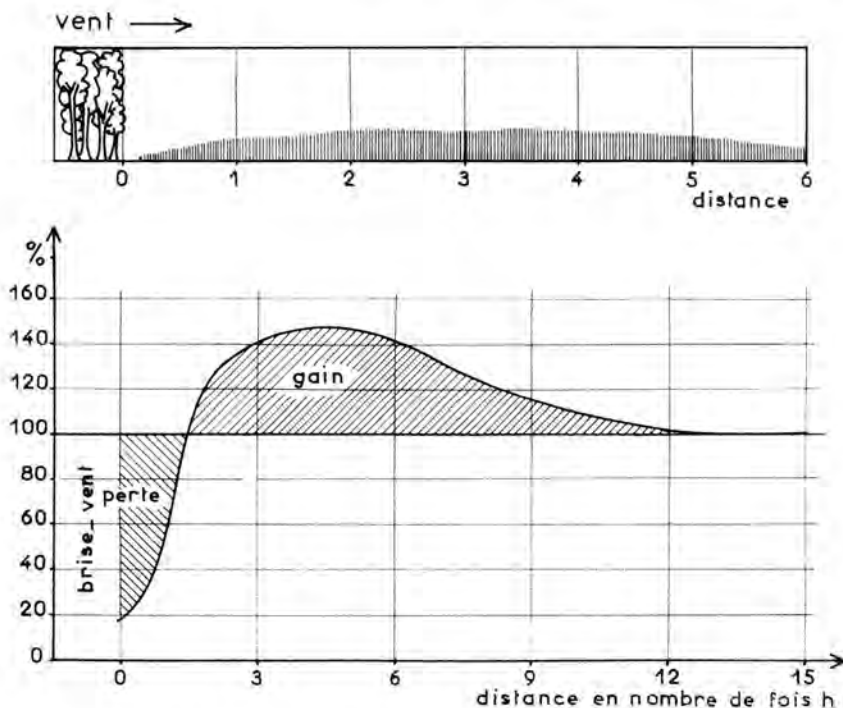


Fig. 16. — Influence d'un brise-vent sur le rendement d'un champ de céréales en pour cent du témoin. En haut est représentée une coupe du champ proche du brise-vent montrant la variation de la hauteur des plantes (d'après BARES).

Le problème des brise-vent et l'aménagement du bocage de l'Ouest

Les talus boisés des pays de bocage forment un réseau très dense de brise-vent. Mais, bien souvent, ils s'étendent de manière anarchique. D'autre part, ces cultures forestières autour des prairies ne sont plus rentables et les chemins creux circulant entre les différentes parcelles se sont, dans beaucoup de cas, transformés en ronciers abritant une flore et une faune souvent nuisibles aux cultures (fig. 17). C'est pour toutes ces raisons, auxquelles il faut ajouter la nécessité de remembrer, que l'on abat les haies et que l'on supprime les talus. Mais cela ne veut pas dire qu'il faille tout araser. D'ailleurs cette transformation du paysage inquiète de plus en plus les hommes et M. le Doyen MILON a écrit dernièrement à ce sujet : « Les campagnes de remembrement, qui sont bénéfiques et rationnelles, ont entraîné la disparition de nombreux talus séparant les champs bretons dans le bocage. Cette tendance s'est amplifiée et dans certaines parties de la Bretagne, les talus disparaissent rapidement. Le bocage s'efface, le paysage se transforme. Mais en faisant disparaître les talus et leur couronne de vieux chênes, on va modifier sans doute dangereusement le microclimat et supprimer l'écran de verdure qui protégeait du vent les cultures et les humains... Avant de faire sur le papier de beaux plans remplaçant le cloisonnement actuel par des champs ouverts et avant de transformer la Bretagne en quelque Beauce ou Picardie, il faudrait étudier les con-



Fig. 17. — Chemin creux transformé en roncier

(Photo Guyot et de Parcevaux)

séquences probables de ces transformations, prévoir les bouleversements apportés à l'équilibre biologique, au climat, au régime des eaux, etc... »

Les inquiétudes de M. le Doyen sont justifiées et il serait regrettable d'attendre que le réseau de brise-vent naturels de l'Ouest soit supprimé pour s'apercevoir qu'il était utile.

La mécanisation de l'agriculture nécessite des parcelles de grande dimension il est vrai ; mais cette nécessité n'est pas incompatible avec la protection contre le vent. En effet, un brise-vent semi perméable protège environ 20 fois sa hauteur, ce qui autorise, pour des rideaux de 10 m de haut par exemple, un espacement de 200 m.

Le bocage doit donc évoluer. Il serait souhaitable que, dans un premier stade, un certain nombre de talus boisés soit supprimé, mais aussi qu'un certain nombre

d'entre eux soit conservé de manière à constituer un réseau de brise-vent efficace. Cet ensemble de brise-vent pourrait avoir un caractère provisoire et permettrait d'attendre dans un deuxième stade, son remplacement par un réseau mieux conçu.

Par ailleurs, les régions actuellement déboisées devront être parcourues d'un ensemble de rideaux protecteurs.

Quel sera le type de brise-vent adopté pour ces nouveaux aménagements ? Les talus boisés actuels forment d'excellents brise-vent semi perméables, mais, du point de vue forestier, ils ne présentent guère d'intérêt. Il faut donc chercher à améliorer leur rentabilité économique en facilitant leur entretien par la mécanisation (GIRARD, 1964), ou en introduisant largement de nouvelles espèces, peuplier, épicéa de Sitka, par exemple, qui, outre une protection efficace, fourniraient une production ligneuse appréciable. Un nouvel équilibre biologique serait ainsi créé ; il faudrait bien entendu l'étudier au préalable afin de pouvoir estimer les conséquences qui pourraient en résulter. Ces transformations doivent être progressives et adaptées à chaque région de façon à éviter les méfaits souvent irréparables des changements trop brutaux.

Ces questions qui présentent un très grand intérêt ne sont plus de la compétence de la Bioclimatologie, mais particulièrement des forestiers qui y consacrent, depuis déjà longtemps, une partie de leurs efforts (cf. Les études de M. BERGIS).

Le problème de l'aménagement du bocage de l'Ouest vient donc d'être évoqué sous l'angle de ses conséquences d'ordre climatique. Ce qui vient d'être dit des brise-vent est valable pour toutes les régions à climat subhumide. Ainsi, dans cette optique, les méthodes culturales sont à revoir. Il s'avère nécessaire de remodeler le paysage afin de lui donner ou de lui conserver une allure bocagère. De tels procédés semblent justifiés par les possibilités d'augmentation de la production végétale. Ce problème n'est pas à l'échelle de l'agriculteur isolé ; la solidarité de l'ensemble des agriculteurs et de tous ceux qui s'y intéressent est nécessaire pour mener à bien une telle entreprise. Les résultats que l'on peut en attendre contribueront peut-être à réaliser une agriculture moderne compétitive et à augmenter la production alimentaire à l'échelle mondiale.

BIBLIOGRAPHIE

- BALDY Ch., 1963. — Cultures associées et productivité de l'eau. *Ann. Agron.* 1963, 14, 4, pp. 489-534, et *L'Eau et la Production végétale*, I.N.R.A., Paris, 1964, pp. 303-348.
- BODROV V.-A., 1936. — The influence of shelterbelt over the microclimate of adjacent territories. *Journal of Forestry*, n° 34, pp. 696-697.
- BOUCHET R.-J., 1963. — Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. *Ann. Agron.* 1963, 14, 5, pp. 743-824, et *L'Eau et la Production végétale*, I.N.R.A., Paris, 1964, pp. 151-232.
- BOUCHET R.-J., PARCEVAUX S. DE, 1962. — Influence de l'irrigation et d'une réduction de l'E.T.P. au moyen de brise-vent sur le rendement des plantes cultivées. *C.R. Acad. Agric.*, t. 48, 13, pp. 686-694.
- BOUCHET R.-J., PARCEVAUX S. DE, ARNOUX J., 1963. — Amélioration du rendement des végétaux par abaissement de l'évapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.* 1963, 14, 5, pp. 825-833, et *L'Eau et la Production végétale*, I.N.R.A., Paris, 1964, pp. 233-241.
- GIRARD J., 1964. — L'entretien de la haie vive. L'entretien mécanique des haies vives et de leurs abords. *L'équipement agricole*, numéro spécial, décembre 1964.
- GUYOT G., 1963. — Les brise-vent. Modification des microclimats et amélioration de la production agricole. *Ann. Agron.* 14, 4, pp. 429-488, et *L'Eau et la Production végétale*, I.N.R.A., Paris, 1964, pp. 243-302.
- GUYOT G., 1964. — Les brise-vent et le facteur eau. L'entretien mécanique des haies vives et de leurs abords. *L'équipement agricole*, numéro spécial, décembre 1964.
- HALLAIRE M., 1963. — Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. *Ann. Agron.* 1963, 14, 4, pp. 393-428, et *L'Eau et la Production agricole*, I.N.R.A., Paris, 1964, pp. 27-62.
- JENSEN M., 1954. — Shelter effect. Copenhagen Danish Technical Press. 264 p.
- KARSCHON R., 1958. — *Pennisetum purpureum* schum comme brise-vent. 12^e Congrès Union Internationale des Instituts de Recherches forestières. Oxford, 1956, pp. 36-43. Londres, 1958.
- KASHIYAMA T., 1958. — Decrease of sea fog density by a model shelterbelt. Document. 12^e Congrès Union Internationale des Instituts de Recherches forestières. Oxford, 1956. Londres, 1958.
- MILON Y., 1964. — La Bretagne. Simples propos d'un naturaliste. *Bull. de l'Assoc. française pour l'avancement des Sciences*. T. LXXXI, mars-avril 1964, pp. 87-100.
- NAGEL W., 1946. — Weitere Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfröhänden. *Ann. Inst. Fed. rech. forest.* 24, pp. 659-737.
- PARCEVAUX S. DE, 1963. — L'eau, facteur limitant de la production agricole. *C.R. Journées internationales de l'irrigation*, Agen-Chantilly, pp. 9-15.
- PARCEVAUX S. DE, 1963. — Transpiration végétale et production de matière sèche. Essai d'interprétation en fonction des facteurs du milieu. *Ann. Agron.* 1963, 14, 5, pp. 655-742, et *L'Eau et la Production végétale*, I.N.R.A., Paris, 1964, pp. 63-150.
- SERRA L., 1953. — Le vent en France et ses possibilités d'utilisation. *La Météorologie*, octobre-décembre 1953, pp. 273-292.