

OBSERVATIONS SUR LE RÔLE DES BRISE-VENT

J.M. BÉGUIN

OBSERVATIONS SUR LE RÔLE DES BRISE-VENT

J.M. BÉGUIN

Fruits, nov. 1972, vol. 27, n°11, p. 745-764.

RÉSUMÉ - On rappelle les notions d'ETP et d'ETR ainsi que celle du débit maximum (Q_{max}). Les rapports entre ces trois facteurs sont envisagés. L'étude de la formule de PENMAN termine l'exposé des considérations nécessaires à la bonne compréhension de la part prise par l'advection dans l'ETP.

On précise ensuite quelques paramètres du mode d'action du brise-vent, en fonction de ses caractéristiques (porosité, perméabilité, taille) sur les éléments du micro-climat. Les inconvénients sont étudiés : place perdue, adaptations des techniques culturales, concurrence racinaire, influence de l'ombrage, accidents climatiques (gelée, échaudage, apoplexie), effets de surchauffe, incidence sur les maladies cryptogamiques sur les insectes, présence de parasites animaux et végétaux ; de même que les avantages, réduction des dégâts mécaniques, accroissement de la précocité, diminution de la consommation d'eau ou meilleure utilisation de celle-ci, réduction de l'ETP, de l'érosion éolienne ou hydrique, production de bois.

Des conseils sont donnés pour l'implantation des brise-vent en zone aride.

De nos jours le problème de l'eau douce se pose d'une manière de plus en plus cruciale dans le monde entier. Si ce problème, est très récent dans une partie du monde, et lié à un type de civilisation avancée, il existe depuis des millénaires dans les régions tropicales arides et semi-arides qui représentent plus du 1/3 des surfaces émergées du globe. Ces régions sont caractérisées par un climat continental très accentué, avec des températures très élevées et une pluviométrie faible, très mal répartie dans le temps (200 mm à 800 mm en 3 ou 4 mois). Ces conditions très rudes sont un très gros handicap pour l'agriculture. Dans ces régions, tous les sols exploitables, possédant de l'eau, sont cultivés par irrigation. Et les hommes, de tous temps, ont prouvé leur ingéniosité pour tirer le meilleur parti de l'eau dont ils disposaient. Cependant avec les techniques modernes, on a pu faire des forages profonds permettant d'atteindre la nappe phréatique. Mais cette eau si rare et donc si chère doit être utilisée au mieux pour les hommes et l'agriculture. C'est pourquoi il est nécessaire de bien connaître les mécanismes intervenant dans l'utilisation de l'eau par les plantes, afin de

réduire le plus possible leur consommation d'eau, tout en ayant une production végétale maxima. Nous mettrons en évidence le rôle du vent sur l'évaporation, ce qui nous amènera à étudier les modifications de l'écoulement de l'air derrière brise-vent et l'influence de ces brise-vent sur le comportement des cultures et l'emploi de l'irrigation.

L'EAU ET LA PLANTE

NOTIONS D'ETP, ETR ET DÉBIT MAXIMA Q_{MAX} .

L'évapotranspiration potentielle, ETP, correspond à la quantité d'eau qui pourrait être évaporée par une surface librement évaporante, comme par exemple une feuille de buvard humide. Elle représente donc le maximum d'eau que peut évaporer une surface en fonction de l'énergie disponible dans le milieu. C'est une valeur instantanée qui varie donc pendant la journée et la saison et qui passe par un maximum lors des heures les plus chaudes de la journée.

L'évapotranspiration réelle, ETR, correspond à la quantité d'eau réellement évaporée par un couvert végétal vivant.

* - Extraits d'un mémoire présenté par l'auteur à l'ESITRA en juin 1972.

Elle est plus ou moins inférieure à ETP en raison de l'existence d'un certain nombre de résistances rencontrées par l'eau dans son mouvement à travers la plante depuis le sol jusqu'à l'atmosphère. Ces pertes de charge se situent tout d'abord dans le sol et au niveau des racines, mais surtout au niveau des feuilles où les stomates, par la régulation de leur ouverture, offrent au passage de l'eau une résistance plus ou moins grande en fonction de l'état de déshydratation du feuillage.

Le débit maxima Q_{max}. Schématiquement on peut se représenter une plante comme composée de deux parties indépendantes : les feuilles, au contact de l'air, qui évaporent, transpirent et servent aux échanges gazeux, CO₂ en particulier, par l'intermédiaire des stomates et des pores de la cuticule ; les racines, au contact du sol, qui puisent dans le sol l'eau nécessaire aux feuilles pour l'évaporation et les minéraux nécessaires à la plante. La tige sert de canal pour le transport de l'eau au niveau des feuilles il y a une demande d'eau caractérisée par ETP, si cette demande est assurée par un débit d'eau suffisant, la plante se développe pleinement. Mais l'on a vu que l'ETP est une valeur instantanée qui passe par un maximum aux heures les plus chaudes de la journée. A ce moment là, le débit d'eau qui doit arriver aux feuilles doit lui aussi augmenter, pour pallier cette demande. Il faut donc que l'offre en eau au niveau des racines soit suffisante pour compenser cette augmentation de la demande. Or que se passe-t-il dans le sol au niveau des racines ?

On peut considérer le pouvoir de succion des racines comme une différence de potentiel. Comme l'a montré HALLAIRE, l'eau est retenue d'une manière de plus en plus forte par les particules de sol lorsque l'humidité volumique de la terre diminue. Ce potentiel matriciel Ψ est mesuré en pression.

Le débit de l'eau dans le sol jusqu'aux racines est donc fonction à la fois de ce potentiel matriciel (ou force de rétention), et du potentiel de succion des racines. Au niveau des radicelles on a un débit partiel

$$q = -K \frac{\Psi_r - \Psi_s}{\Delta z}$$

- avec Ψ_r : potentiel de succion des racines
- Ψ_s : potentiel matriciel qui est fonction de l'humidité du sol
- K caractéristique du sol, fonction décroissante de Ψ_s
- Δz : distance que l'eau doit parcourir pour arriver jusqu'aux racines.

Pour l'ensemble des racines on a un débit total Q égal à la somme des débits partiels q. Cette valeur Q est donc fonction à la fois de l'état de l'eau dans le sol (fonction de l'humidité), et du nombre de radicelles, c'est-à-dire du volume radicaire.

On appelle débit maxima ou Q_{max}, le débit instantané que peuvent fournir les racines à la plante. Ce débit est donc caractéristique d'un état donné du sol (structure et humidité) et de la densité d'enracinement.

Relations entre ETP, ETR et Q_{max}. Nous voyons donc que le développement des plantes est conditionné par deux facteurs principaux : le débit maxima Q_{max} et l'ETP.

Mais ETR est directement lié à cette valeur de Q_{max}. Et des bioclimatologistes (BOUCHER, ROBELIN) ont mis en évidence d'excellente corrélation qui existe entre le rendement en matière sèche et le rapport $\frac{ETR}{ETP}$, lequel peut être considéré comme un critère de fermeture des stomates (fig. A).

Si le débit maxima Q_x du végétal est constamment supérieur à l'ETP, la plante conserve en permanence le maximum de surfaces efficaces d'échange, l'évapotranspiration réelle ETR tend vers l'ETP et l'élaboration de matière sèche n'est plus limitée par l'approvisionnement hydrique.

Chaque fois, au contraire que l'ETP dépasse le débit maximal Q_x soit par suite d'une demande accrue de l'atmosphère

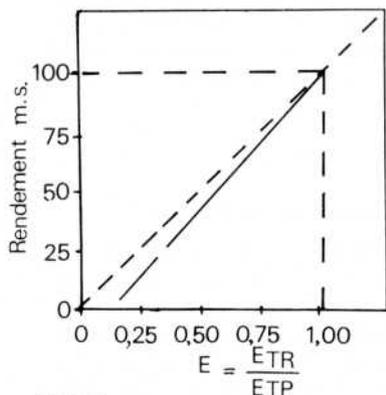


FIG. A

Relations entre le rendement en matière sèche et le rapport $\frac{ETR}{ETP}$ (d'après Robelin)

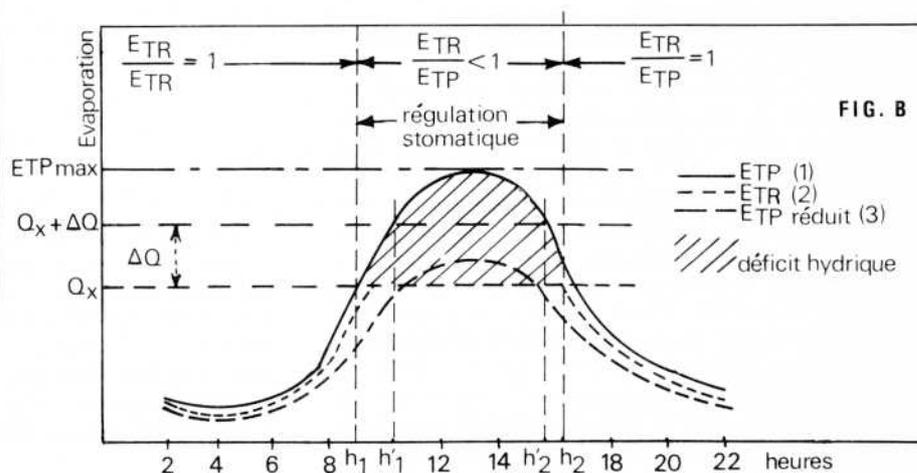


FIG. B

phère, soit en raison d'un dessèchement du sol ou d'un développement racinaire insuffisant, il y a intervention de la régulation stomatique, restriction des surfaces d'échange et par conséquent réduction de la capacité de production de matière sèche.

Or, au cours d'une journée, l'ETP varie très largement, souvent très faible au cours de la nuit, elle devient maximale vers le milieu de la journée.

Il arrive très fréquemment pendant les saisons les plus chaudes que la demande de l'atmosphère se maintienne pendant plusieurs heures au-dessus du débit maximal Q_x des végétaux. Les plantes souffrent alors d'un déficit hydrique systématique au cours de la journée et la régulation stomatique intervient. Pendant tout l'intervalle h_1 h_2 (fig. B) la photosynthèse chlorophyllienne est réduite et la production de matière sèche subit une très sérieuse limitation.

Toute intervention provoquant une augmentation de Q_x ($Q_x + \Delta Q$) ou bien, une diminution de l'ETP (courbe 3) écourtera ou même supprimera cet effet dépressif qui affecte la production végétale (h_1 h_2 au lieu de h_1 h_2).

Pour augmenter Q_x , l'irrigation est la solution la plus immédiate ; cependant des solutions comme les cultures associées, la sélection génétique et des façons culturales appropriées, peuvent compléter efficacement l'irrigation.

La seconde solution pour augmenter l'efficacité de l'eau est celle qui consiste à diminuer l'ETP. Pour cela nous allons étudier les éléments dont dépend l'ETP afin de voir sur quels facteurs on peut agir pour faire baisser l'ETP.

ÉTUDE DE LA FORMULE DE PENMAN.

On vient de voir que l'évapotranspiration comprend l'évaporation du sol et la transpiration d'un couvert végétal. D'un point de vue physique il s'agit d'un seul et unique phénomène qui pour se produire demande de l'énergie.

Déterminer l'ETP revient donc à connaître, à partir des facteurs climatiques, l'énergie arrivant au niveau de la surface évaporante considérée. Ce problème a été analysé et résolu sur le plan théorique par PENMAN notamment.

Pour comprendre sa formule il faut faire le bilan énergétique de la surface évaporante considérée ; c'est-à-dire comptabiliser l'énergie qu'elle reçoit et l'énergie qu'elle perd. On obtiendra donc l'évaporation en fonction des autres termes du bilan.

L'ETP correspondant à l'évaporation d'une surface d'eau libre supposons donc la surface d'un lac ou plutôt celle d'un sol gorgé d'eau. Cette surface échange de l'énergie avec l'atmosphère et le sous-sol de plusieurs façons.

Elle reçoit un rayonnement venant du soleil (R_g) et de l'atmosphère (R_a).

Mais elle-même rayonne et perd de ce fait de l'énergie suivant une loi en σT^4 (T : température absolue) correspondant sensiblement à la loi des corps noirs. La somme algébrique des rayonnements qu'elle reçoit et qu'elle émet s'appelle Rayonnement net (R_n) de la surface.

D'autre part le sol échange avec l'atmosphère de la chaleur sous deux formes :

- une forme de chaleur sensible Q_s provenant de la différence de température entre la surface et l'extérieur,
- un flux de chaleur latente $Q_l = -L \cdot E$, nécessaire pour vaporiser une quantité E d'eau de surface,
- enfin un flux de conduction Q_o correspondant aux échanges de chaleur entre la surface du sol et le sous-sol. Cet échange se fait dans les deux sens suivant que l'on est le jour ou la nuit. Dans des conditions parfaites il y a équilibre et Q_o est nul.

Le bilan énergétique d'une telle surface sur 24 heures donne : $B = R_n + Q_s + Q_l + Q_o$

Dans des conditions parfaites ce bilan est nul, les pertes annulant les apports. Ce qui donne : $R_n + Q_s + Q_l + Q_o = 0$

Le rayonnement net peut encore s'écrire :

$$R_n = (1 - a) R_g + R_a - \sigma T_s^4$$

a : facteur de diffusion-réflexion de la surface considérée, ou du couvert, couramment appelé **albédo** ;

donc $(1 - a) R_g$ correspond au rayonnement global solaire réellement absorbé par la surface. R_g étant assez facilement mesurable, on le prendra par la suite comme référence à la place de R_n dans nos tableaux et graphiques, vu que ces deux valeurs sont très liées entre elles à un coefficient près.

$$Q_o = 0$$

Q_l et Q_s sont à définir à partir des données climatiques : vitesse moyenne du vent (u), température T et tension de vapeur (f). On arrive ainsi à la formule de PENMAN (1956) :

$$ETP = \frac{\Delta R_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

avec R_n : rayonnement net

Δ : pente de la courbe représentant la tension de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température, à la température T .

γ : constante psychrométrique

E_a : évaporation d'une nappé d'eau libre à la température de l'air. E_a est fonction de la vitesse du vent, de la température, et du déficit de saturation de l'air.

$$E_a = \Delta f \cdot \phi(V)$$

$\phi(V)$ étant une fonction croissante de la vitesse

V : vitesse du vent total

Δf : déficit de saturation

L'ETP locale est donc une fonction de l'énergie rayonnante d'une part, représentée par $\frac{\Delta R_n}{\Delta + \gamma}$, et de l'advection

donnée par $\frac{\gamma E_a}{\Delta + \gamma}$ qui dépend, de la vitesse du vent de la température, et de l'humidité de l'air.

Les fluctuations dans l'espace de l'ETP observées à l'échelle agronomique seront surtout dues aux trois derniers facteurs avec en plus une fluctuation dans le temps.

Nous voyons ainsi par cette formule, toute théorique, mais qui tient compte de tous les facteurs entrant en jeu

dans le phénomène de l'évapotranspiration potentielle, que le facteur sur lequel l'on peut jouer le plus facilement est E_a . On peut en effet diminuer E_a , en abaissant Δf , c'est-à-dire en augmentant l'humidité de l'air en utilisant l'irrigation par aspersion par exemple, ou bien en faisant diminuer $\varphi(V)$, en utilisant des brise-vent.

Cependant, avant tout, il nous paraissait intéressant de connaître la part exacte des phénomènes d'advection dans l'ETP.

C'est ce que nous avons essayé de mettre en évidence en effectuant toute une série de mesures, par temps de mistral, à la station de Bioclimatologie de l'INRA à Avignon.

Dans la partie advective de la formule de PENMAN, le terme E_a est principalement fonction de la vitesse du vent V , et du déficit de saturation Δf . C'est pourquoi nous avons essayé d'établir une corrélation entre $\frac{ETP}{R_g}$ et le produit $V \cdot \Delta f$ afin d'obtenir une courbe de la forme $\frac{ETP}{R_g} = a \cdot V \cdot \Delta f + b$ (formule de Dalton)

Nous avons obtenu les résultats suivants pour 1969 :

R_g	Nombre de jours de mistral	R	b	a
$0 < R_g < 2$ mm	8	0,146	0,362	1,22
$2 < R_g < 4$	43	0,638	0,256	1,93
$4 < R_g < 8$	39	0,651	0,334	1,15
$8 < R_g$	59	0,383	0,537	0,232

R étant le coefficient de corrélation linéaire, ETP et R_g sont donnés en millimètres, V en kilomètre de vent par jour, f en unité de pression : millibard.

Le graphique se limite à une valeur de $V \cdot \Delta f : 2500$, car cela correspond à plus de 90 p. cent des valeurs que l'on trouve dans la région d'Avignon. Cependant quelquefois il arrive que ce produit $V \cdot \Delta f$ atteigne la valeur de 10.000 et dans ce cas l'on a $\frac{ETP}{R_g} > 1$.

L'on voit donc que lorsque souffle un fort vent desséchant l'ETP peut passer du simple au double et même au triple pour une même valeur de R_g . C'est pourquoi il est nécessaire d'être très prudent lorsque l'on utilise des formules approchées de l'ETP où l'on néglige l'advection (comme $ETP = 0,5 R_g$ par exemple) cela pouvant entraîner de très grosses erreurs dans les doses d'irrigation.

Et surtout cette étude nous montre bien l'importance que peut prendre le phénomène d'advection dans l'ETP. Et si à Avignon les conditions climatiques ne sont pas encore trop rigoureuses, l'on imagine très facilement l'importance que peut prendre cette partie advective dans les régions tropicales arides et semi-arides. Dans ces régions le déficit de saturation est extrêmement élevé et il sévit pendant 6 mois de l'année des vents forts et desséchants comme l'Harmattan ou le Sirocco.

L'on comprend alors pourquoi il est important d'étudier

les modes d'action des brise-vent afin de mieux lutter contre une évapotranspiration trop intense dans des régions possédant déjà si peu d'eau. Mais si la première conséquence de la mise en place d'un rideau d'arbres est de ralentir la vitesse du vent derrière lui, le phénomène réel est très complexe. C'est pourquoi, avant de vouloir implanter un réseau de brise-vent dans une zone à irriguer, il faut bien en connaître tous les avantages et inconvénients, ainsi que les contraintes imposées alors à l'irrigation.

LES EFFETS DES BRISE-VENT

LES EFFETS AÉRODYNAMIQUES.

La longueur de la zone protégée par un brise-vent, toutes autres conditions restant égales par ailleurs, est sensiblement proportionnelle à la hauteur de celui-ci ; ainsi, afin de pouvoir effectuer commodément des comparaisons entre différents rideaux protecteurs, leur hauteur est généralement prise comme unité de mesure de la longueur de la zone protégée. Mais l'extension de la zone protégée par un brise-vent dépend également d'autres facteurs et en particulier de sa porosité et de la stabilité thermique de l'air au voisinage du sol.

Influence de la porosité du brise-vent.

Considérations théoriques.

La figure 1 représente de manière très schématique les phénomènes qui se produisent au voisinage de brise-vent de deux types :

Lorsqu'un flux d'air rencontre un brise-vent imperméable, il est dévié vers le haut. La section de passage de l'air étant alors réduite, la vitesse de l'écoulement s'accroît dans cette zone. Sur la figure 1A, la partie hachurée représente la veine qui initialement avait une épaisseur égale à la hauteur de l'obstacle et qui a été déviée par celui-ci.

Dans la première partie de son parcours cette veine se contracte, la vitesse de l'air s'accroît et la pression statique diminue (loi de BERNOUILLI). Cette diminution de pression crée un appel d'air qui se traduit par un mouvement ascendant dans la zone située immédiatement derrière le brise-vent. Dans la deuxième partie de son parcours la veine reprend progressivement ses dimensions primitives, la vitesse de l'air diminue et la pression statique augmente. Des filets d'air peuvent alors se détacher de la veine défléchie et aller alimenter le vaste tourbillon qui occupe toute la zone qu'elle délimite. Ceci permet de comprendre l'existence au niveau du sol d'un courant de retour en sens opposé à l'écoulement général.

Ce courant de retour au niveau du sol peut être si intense qu'il forme un couple de force, sur les cultures en palissade, généralement tomates, petits pois, vigne, tel qu'il cisaille complètement les piquets de soutien à leur base. Ce phénomène a été enregistré plusieurs fois déjà dans la région de Cavaillon, où souffle un fort mistral, et aussi en Argentine avec le Pampero. A Avignon, un maraîcher de l'étang de Berre nous a indiqué qu'il avait eu les mêmes dégâts sur ses

jeunes pieds de pommes de terre qui avaient eu la tige brisée à ras du sol.

La veine défléchie qui est en état de dépression a tendance à se plaquer très rapidement au sol. La zone perturbée par le brise-vent n'a donc qu'une étendue relativement faible.

Dans le cas d'un brise-vent perméable, une partie seulement du flux d'air incident le contourne, l'accroissement de vitesse dans le flux défléchi est donc plus faible et la dispersion est moins importante. Comme un certain débit d'air passe à travers le brise-vent, le mouvement tourbillonnaire ne se produit plus. Les lignes de courant présentent seulement un léger soulèvement de leur trajectoire (fig. 1B) dans la zone d'action du brise-vent. Il n'existe plus qu'une zone

tourbillonnaire de transition entre le flux d'air accéléré et le flux d'air ralenti.

Puisque la dépression de la veine défléchie est moins importante que pour un brise-vent imperméable, son rabattement est beaucoup plus progressif et la zone protégée s'étend sur une distance beaucoup plus grande.

Cependant lorsque la porosité d'un brise-vent augmente, la réduction de la vitesse du vent diminue moins vite que ne s'accroît la longueur de la zone protégée. Ainsi il existe une valeur optimale de la porosité pour un brise-vent qui correspond à la valeur maximale du produit de la réduction moyenne du vent par la longueur de la zone protégée, c'est-à-dire de la surface comprise entre la courbe de vitesse du vent derrière le brise-vent et la vitesse du vent en zone libre avant le brise-vent.

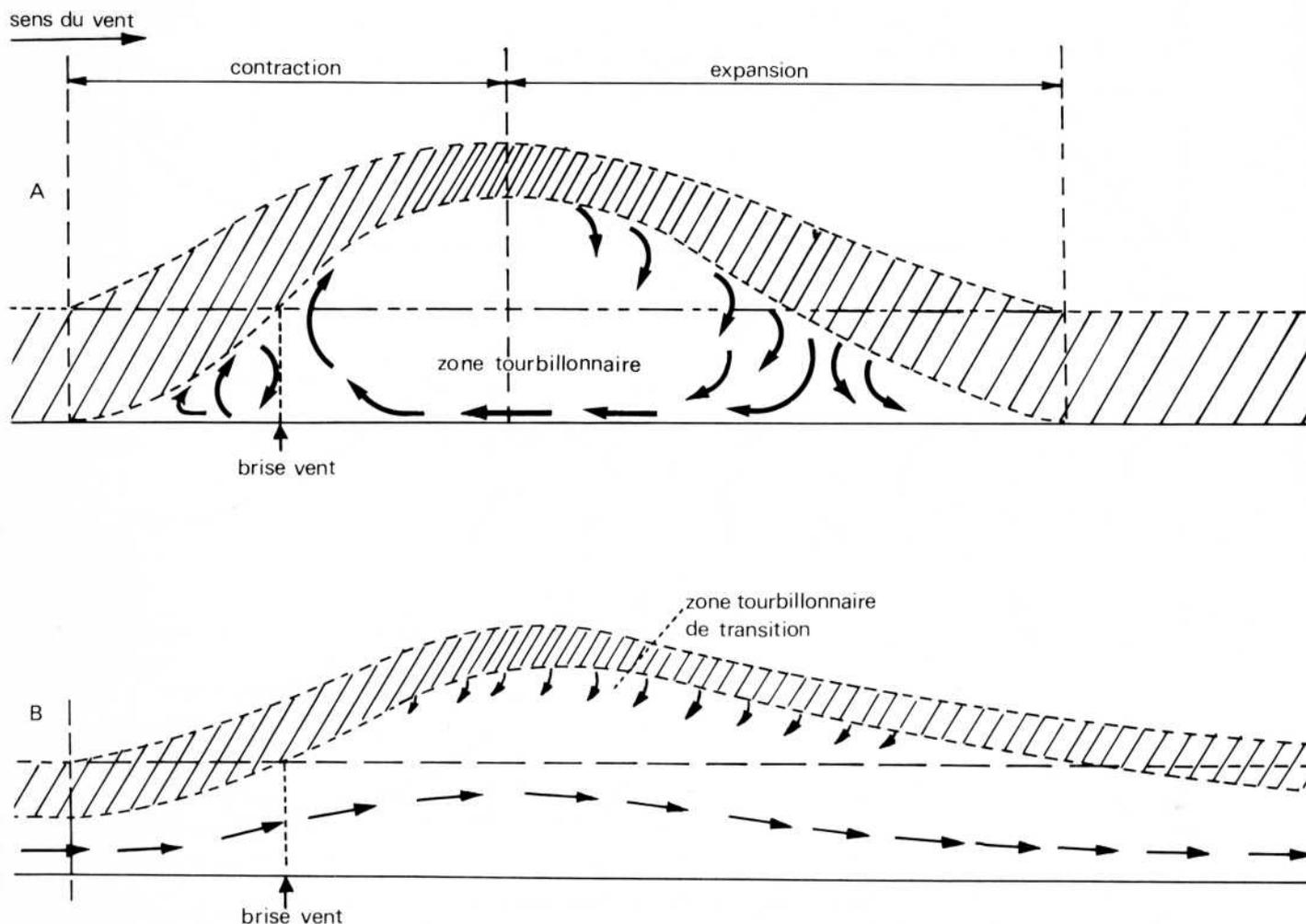


FIG. 1 - Représentation schématique de l'écoulement de l'air au voisinage d'un brise-vent

A - brise-vent imperméable

B - brise-vent perméable. La série de flèches représente le trajet d'un filet fluide.

Cette porosité optimale théorique est de l'ordre de 50 p. cent pour un brise-vent sans épaisseur, si l'on ne considère que le ralentissement de l'air et la longueur protégée ; mais comme on le verra plus tard, l'efficacité maxima au point de vue agronomique ne correspond pas toujours à l'efficacité optimale théorique, car alors d'autres facteurs microclimatiques entrent en jeu.

Cette notion de porosité ne permet pas d'ailleurs de caractériser parfaitement un brise-vent du point de vue aérodynamique ; il est nécessaire de faire intervenir la forme et la dimension des trous et l'épaisseur du brise-vent lorsqu'il est constitué par un rideau d'arbres. Des études en cours laissent penser que l'efficacité mécanique des brise-vent

dépend plutôt de la perte de charge à travers le brise-vent : valeur qui intègre à la fois, la porosité et le comportement aérodynamique des pores.

Résultats expérimentaux.

Les figures 2 et 3 représentent les courbes d'isovitesses horizontales au voisinage d'un brise-vent imperméable et d'un brise-vent perméable à 50 p. cent environ, chacun de 2 m de haut. La valeur 100 a été donnée à la vitesse horizontale mesurée à 2 m de haut en zone témoin et toutes les autres vitesses ont été exprimées en fonction de celle-ci. Ces deux figures mettent en évidence les perturbations introduites par les brise-vent dans le champ des vitesses. Leur examen permet de constater que le brise-vent imperméable a modifié

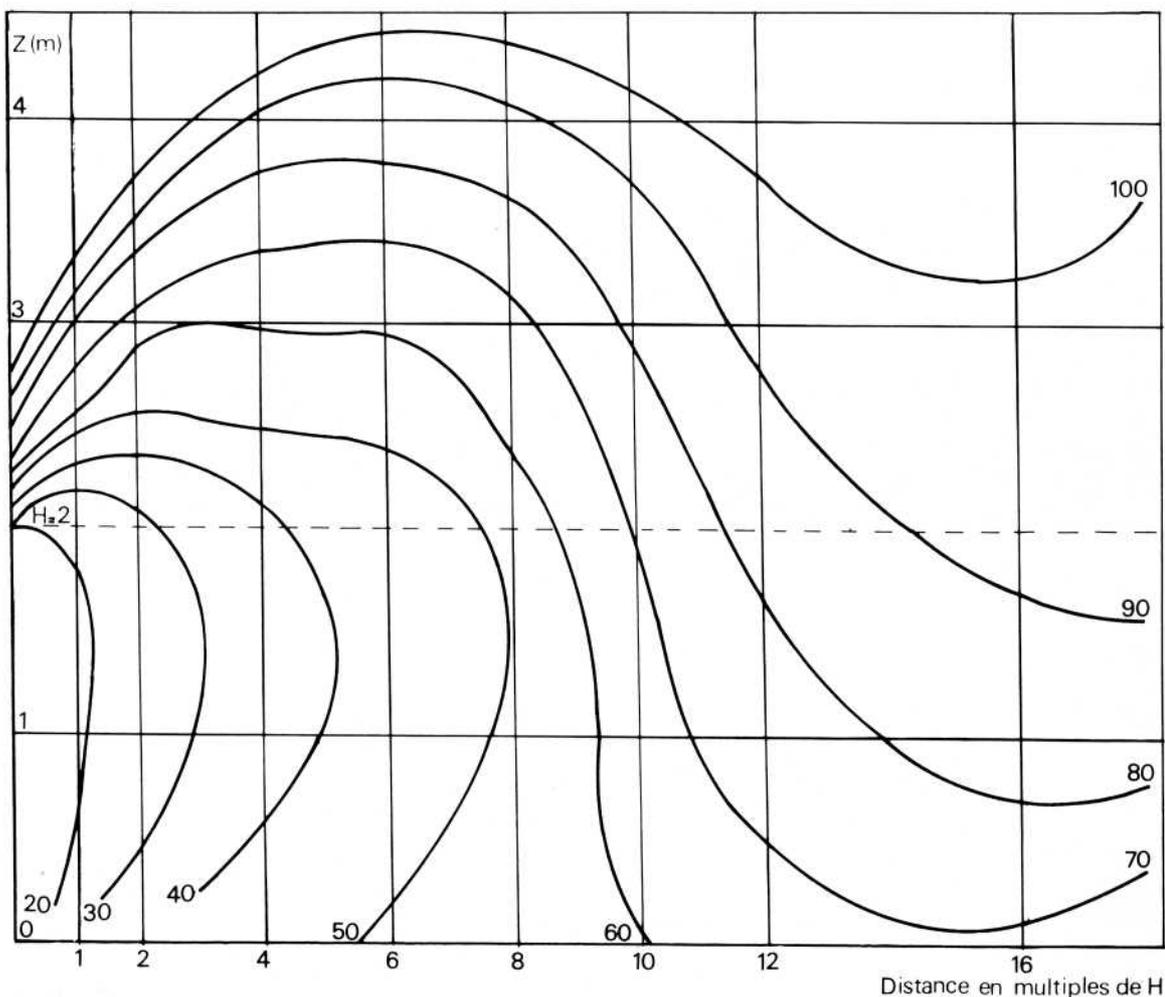


FIG. 2 - Courbes iso-vitesses horizontales au voisinage d'un brise-vent imperméable de 2 m de haut. La valeur 100 a été donnée à la vitesse à 2 m en zone témoin et toutes les autres vitesses ont été exprimées en fonction de celle-ci.

l'écoulement sur une distance beaucoup plus faible que le brise-vent perméable, mais les perturbations introduites sont plus importantes. Ces figures, comme le laissait prévoir la figure 1, montrent également que la veine défléchie se plaque rapidement au sol derrière le brise-vent imperméable alors que son rabattement est beaucoup plus progressif dans le cas du brise-vent perméable.

L'examen de ces figures ainsi que des figures 4 et 5 (représentant pour les mêmes brise-vent les courbes de réduction de la vitesse du vent à différentes hauteurs) permet de constater également qu'un brise-vent réduit la vitesse du vent sur une hauteur supérieure à la sienne. Ceci présente un certain intérêt car il suffira qu'un brise-vent ait une hauteur légèrement supérieure à celle d'un verger, par exemple, pour qu'il le protège efficacement. Mais cette remarque n'est valable que si en amont du brise-vent il n'y a que des cultures basses.

L'extension de la zone protégée par les deux brise-vent

peut également être déduite des figures 4 et 5. Si l'on prend comme limite de la zone d'action d'un brise-vent la distance à laquelle la vitesse du vent est égale à 80 p. cent de celle observée en zone témoin, à une altitude égale à la moitié de la hauteur de ce dernier, la longueur protégée par le brise-vent imperméable est de 11 fois sa hauteur, et par le brise-vent perméable elle est de 21 fois sa hauteur du côté sous le vent, mais il faut noter que le vent est déjà ralenti en amont du brise-vent sur une distance égale à 1 ou 2 fois sa hauteur (NAGELI, 1965).

Influence de la stabilité thermique de l'air.

L'extension de la zone protégée par un brise-vent peut également varier dans de larges proportions selon les conditions de stabilité thermique de l'air au voisinage du sol. En effet, le brise-vent crée un mouvement ascendant et si l'air est instable une partie plus importante du flux d'air incident contourne le brise-vent. Ainsi tout se passe comme si la porosité du brise-vent avait diminué et la longueur de la zone

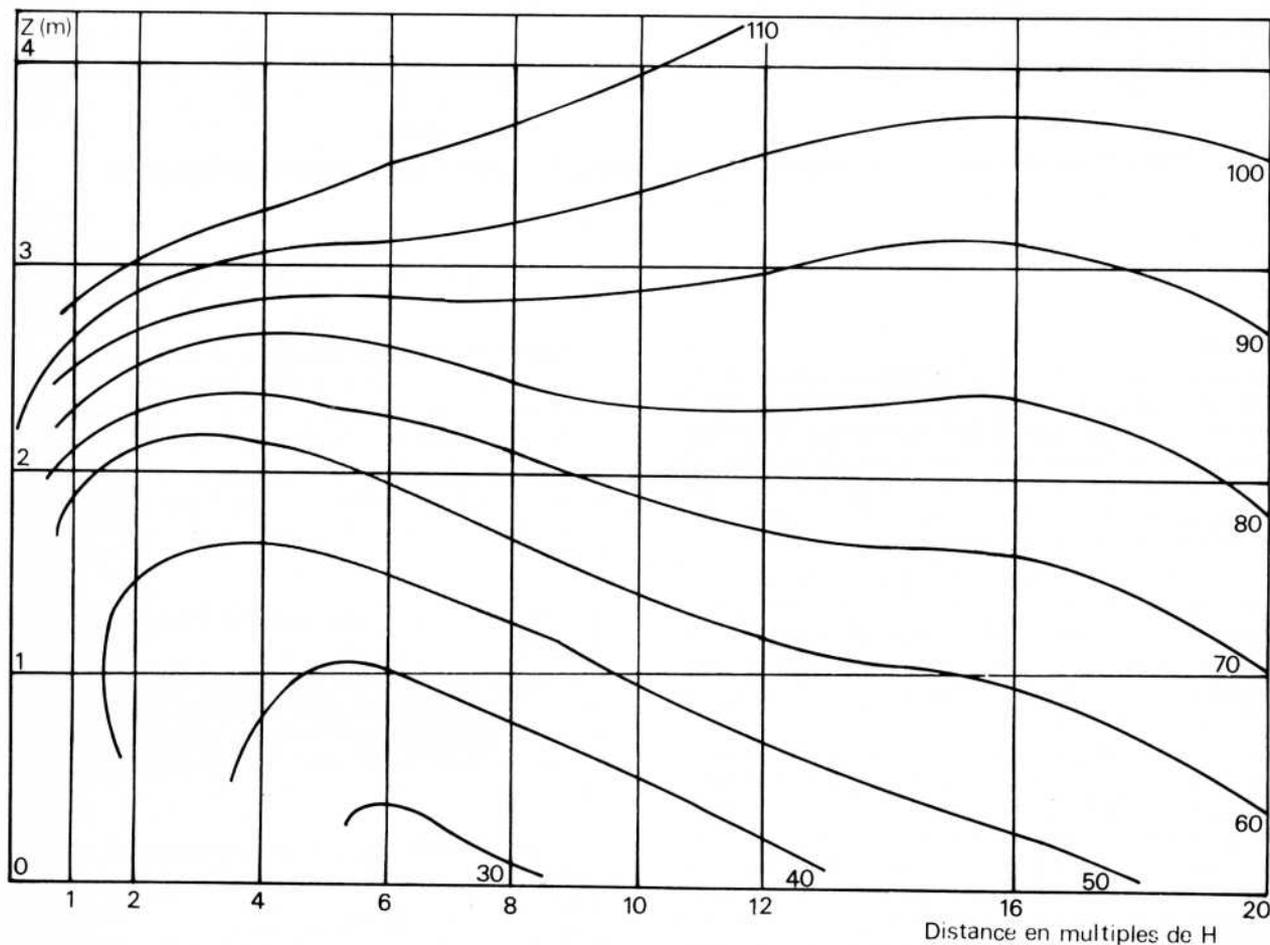


FIG. 3 - Courbes iso-vitesses horizontales au voisinage d'un brise-vent perméable de 2 m de haut. La valeur 100 a été donnée à la vitesse à 2 m en zone témoin et toutes les autres vitesses ont été exprimées en fonction de celle-ci.

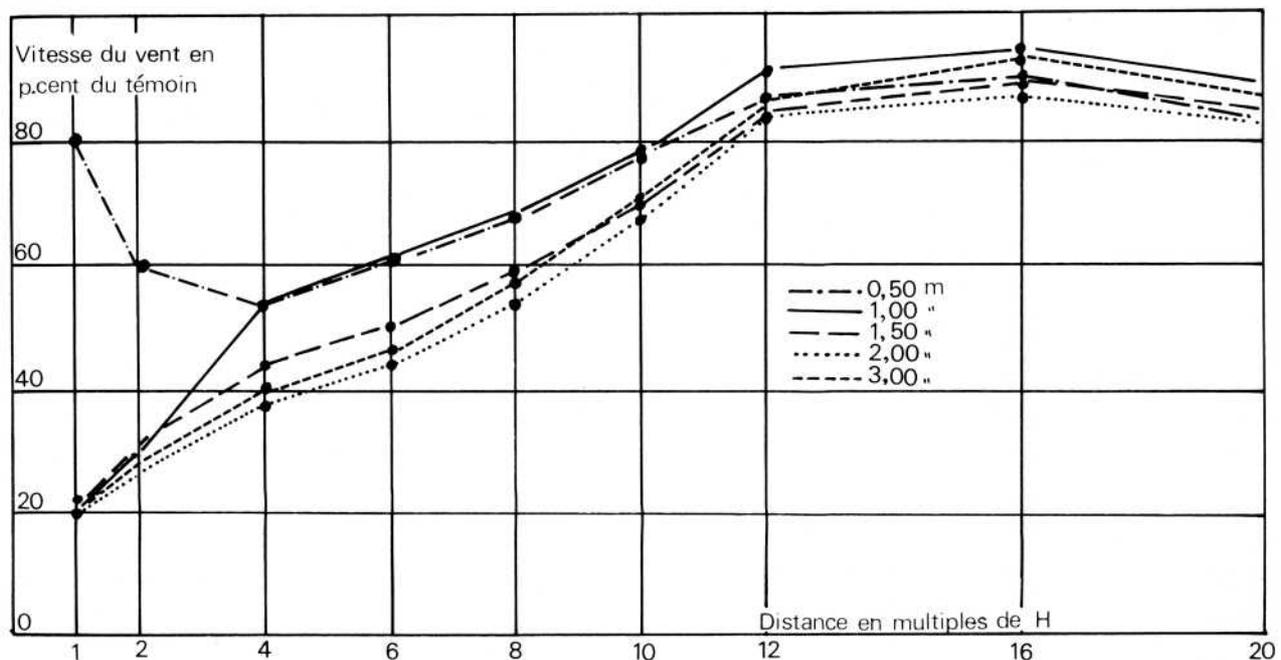


FIG. 4 - Courbes de réduction du vent par un brise-vent imperméable de 2 m de haut, à différentes hauteurs au-dessus du sol.

diminue.

L'air au voisinage du sol est instable en période diurne (l'air chaud et léger se trouve près de la surface du sol) et cette instabilité est d'autant plus importante que le gradient thermique dans les très basses couches de l'atmosphère est plus accentué. Aussi les effets dus à l'instabilité thermique de l'atmosphère se manifestent surtout dans les régions chaudes ou dans les zones plus froides en période estivale.

Cet effet de l'instabilité thermique sur la protection exercée par un brise-vent a été mis en évidence grâce à deux expériences effectuées à l'aide de deux brise-vent artificiels identiques constitués par une grille en matière plastique (expériences faites par la section de bioclimatologie du CNRA à Versailles et aux Antilles).

Un des dispositifs expérimentaux était implanté dans la région parisienne (à la Minière près de Versailles), l'autre à la Guadeloupe (GUYOT 1967, FOUGEROUZE 1968 B). Les résultats des mesures sont résumés dans la figure 6. Dans la région parisienne la protection exercée par le brise-vent varie dans un rapport de 1 à 2 selon que le gradient thermique est stable ou instable. Aux Antilles où l'air est toujours instable les points expérimentaux se sont groupés autour des valeurs obtenues en conditions instables dans la région parisienne.

Cet effet de la stabilité thermique de l'atmosphère sur la longueur de la zone d'action d'un brise-vent est donc très importante. Il sera nécessaire d'en tenir compte lors du calcul de l'espacement des rideaux successifs.

En climat subhumide les brise-vent peuvent être espacés de 20 à 25 fois leur hauteur, en climat semi-aride ou aride cet espacement devra être réduit à 12 ou 15 fois leur hauteur.

LES AUTRES EFFETS MICROCLIMATIQUES DES BRISE-VENT.

En réduisant la vitesse du vent les brise-vent modifient les échanges de chaleur, de vapeur d'eau et de gaz carbonique de la zone qu'ils protègent ; ce qui se traduit par une modification de tous les facteurs du microclimat (GUYOT 1964 A).

Les effets des brise-vent sur l'évapotranspiration.

Comme nous l'avons vu dans notre exposé de l'ETP PENMAN, une réduction de la vitesse du vent tend à abaisser l'ETP. Et notre étude du climat d'Avignon nous a bien confirmé ce fait. Mais nous verrons cependant plus tard, que cette diminution de la quantité d'eau demandée par les facteurs climatiques à la plante, ne s'accompagne pas forcé-

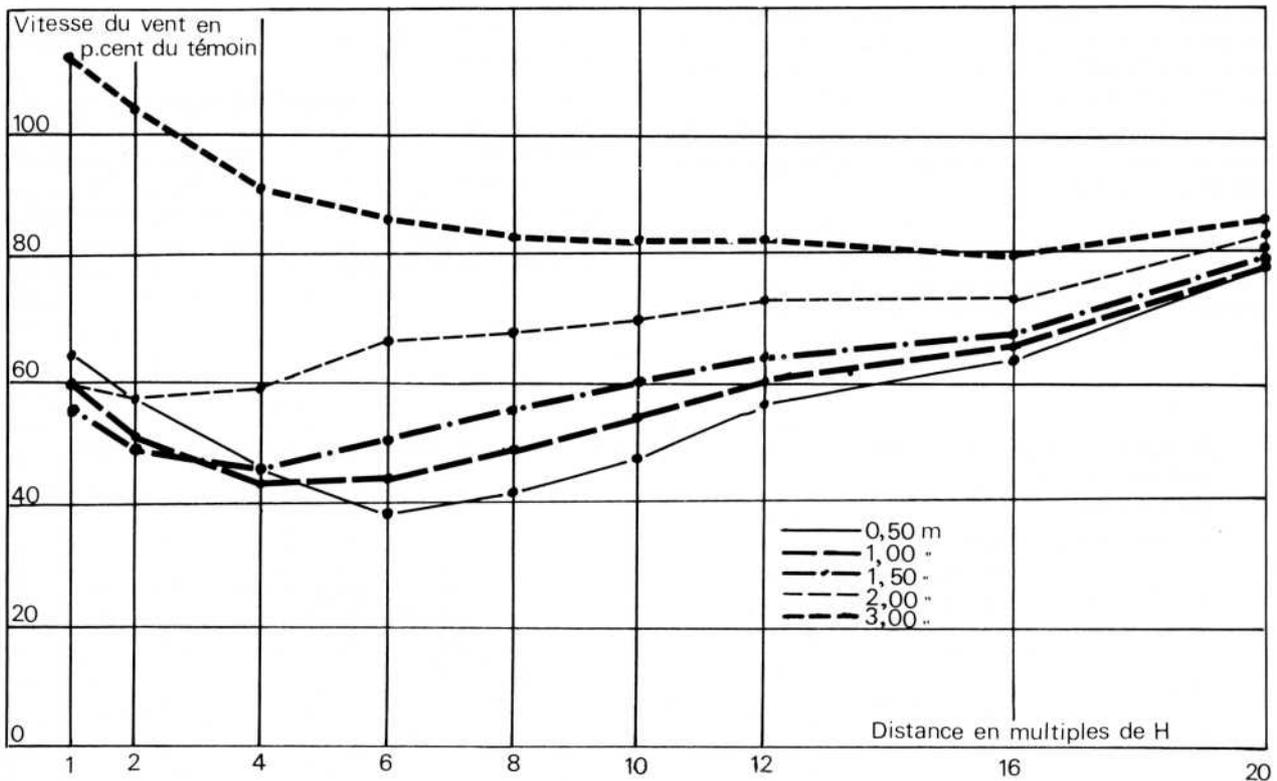


FIG. 5 - Courbes de réduction du vent par un brise-vent perméable de 2 m de haut, à différentes hauteurs au-dessus du sol.

ment d'une diminution de la quantité d'eau totale consommée par les cultures.

Une étude expérimentale effectuée dans la région parisienne a montré qu'à l'intérieur d'une parcelle carrée de 30 m de côté, entourée d'un brise-vent perméable de 2 m de haut, l'évaporation était réduite d'au moins 20 p. cent en tout point et pour l'ensemble de la période juin-octobre.

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

Les effets des brise-vent sur la température de l'air sont très variables ; ils dépendent de leur perméabilité, des conditions climatiques, du couvert végétal et de l'heure de la journée. L'écart de température entre la zone protégée et la zone ouverte est d'autant plus accentué que le brise-vent est moins perméable.

Effets sur la température nocturne.

L'air se refroidit la nuit au contact du sol. Le ralentissement du vent par un brise-vent se traduit donc par un refroidissement plus intense de l'air. Des abaissements du mini-

mum nocturne de 1 à 2° sont fréquemment observés. C'est pourquoi dans certaines régions il faut se méfier des gelées dues aux brise-vent.

Effets sur la température diurne.

Les effets des brise-vent sur la température diurne sont très complexes. Ils dépendent de la couverture du sol, des conditions climatiques et des conditions d'alimentation en eau des cultures.

Lorsque le sol est nu, sa température ainsi que celle de l'air est toujours plus élevée dans la zone protégée par un brise-vent que dans la zone ouverte, car la vitesse du vent étant plus faible, la quantité de chaleur évacuée par le vent est moins importante.

Lorsque le sol est couvert de végétation, par contre, le brise-vent provoque une élévation ou un abaissement de la température selon les conditions climatiques et les conditions d'alimentation hydrique des cultures.

En climat semi-aride ou aride les brise-vent provoquent

un léger **abaissement** de la température de l'air (1 à 2°) au-dessus des cultures irriguées, par contre ils produisent une **élévation** de la température de l'air au-dessus des **cultures en sec** pouvant atteindre et même dépasser 5°. En climat sub-humide ou humide, les brise-vent produisent généralement une élévation de la température diurne (1 à 2°).

Ces différents effets thermiques s'expliquent par une étude du bilan énergétique de la zone protégée par un brise-vent (GUYOT 1964).

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

Un brise-vent limite le départ de la vapeur d'eau transpirée par les plantes, aussi l'air est-il généralement plus humide

dans la zone protégée que dans la zone ouverte, surtout lorsque l'on pratique l'irrigation.

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

La pluie étant généralement accompagnée de vent, sa répartition est modifiée par un brise-vent. Il intercepte une partie de la pluie destinée à la zone protégée, et la quantité d'eau immédiatement reçue du côté sous le vent est plus faible que du côté du vent. Par contre, le ralentissement du vent dans le reste de la zone protégée s'accompagne d'une augmentation de la quantité d'eau reçue. En Israël, KARSCHON (1958) a constaté que les écarts entre le minimum près du brise-vent et le maximum, voisins de 15 p. cent en

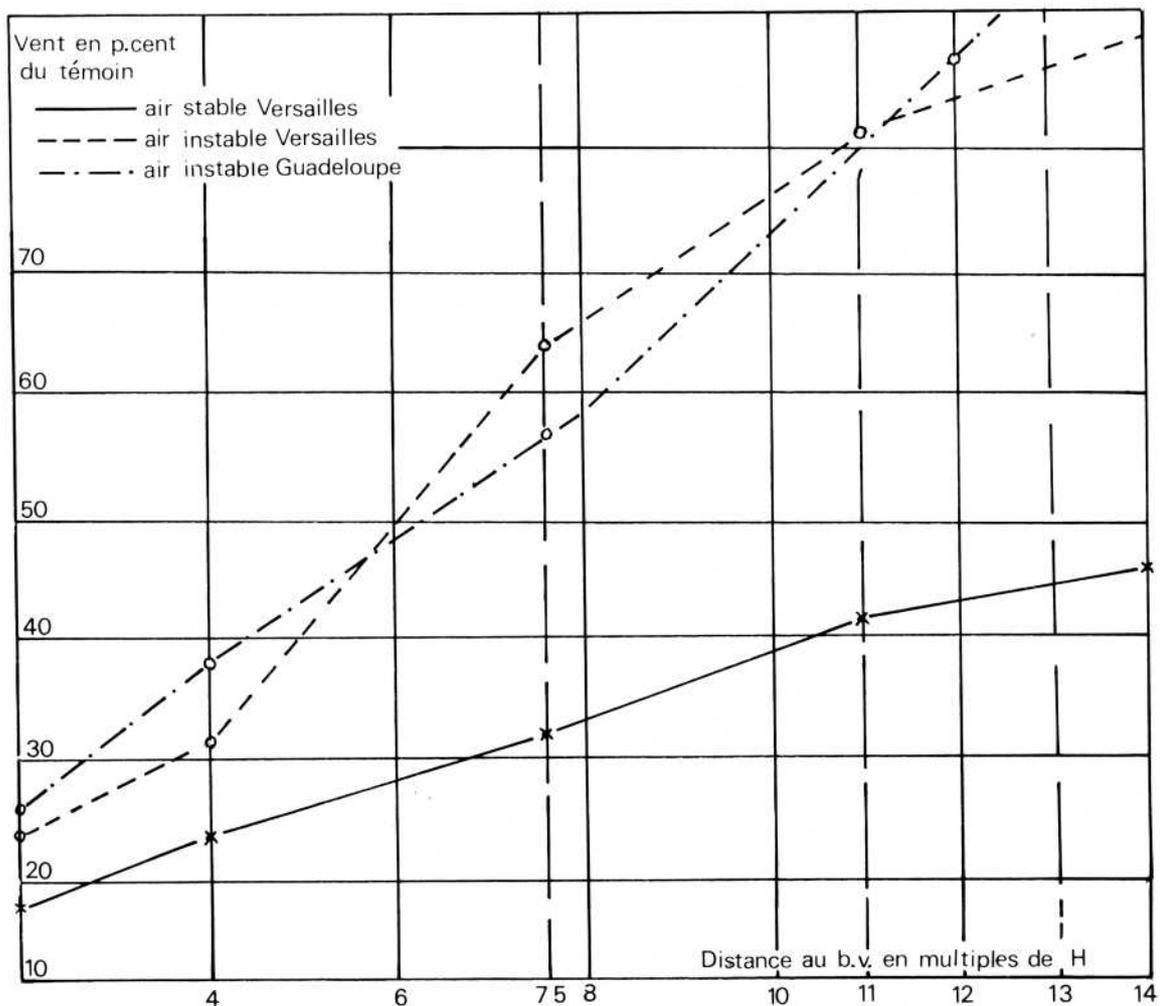


FIG. 5 - Influence de la stabilité thermique de l'air sur la réduction du vent par un même brise-vent.

moyenne peuvent atteindre 80 p. cent de la lame d'eau mesurée en rase campagne par vent très fort.

Cet effet est donc un facteur d'hétérogénéité dont il faut tenir compte notamment dans les **régions méditerranéennes et tropicales** où les pluies sont souvent brutales et accompagnées de vents violents.

INFLUENCE DES BRISE-VENT SUR L'IRRIGATION

Précédemment, on a fait le point sur l'action des brise-vent sur les facteurs physiques du milieu. Il reste à étudier maintenant les aspects agronomiques de leur action, ce qui revient en fait à étudier l'influence des brise-vent sur l'irrigation. Les principaux reproches faits aux brise-vent et les avantages qu'on leur reconnaît généralement seront examinés et discutés et un bilan d'ensemble sera dressé en guise de conclusion.

LES INCONVÉNIENTS DES BRISE-VENT.

La place perdue.

Il est souvent reproché aux brise-vent d'occuper une place trop importante : dans les régions ventées où existent des brise-vent traditionnels, le dispositif de protection peut occuper jusqu'à 20 ou 25 p. cent de la surface agricole (BALDY et MARION 1966) : ces rideaux denses protègent une faible superficie, et ceci incite à les rapprocher à 4 ou 5 fois leur hauteur pour obtenir une protection efficace.

En réalité ces reproches ne sont plus fondés si on utilise un système de protection rationnel constitué par des brise-vent semi-perméables ; ceux-ci ainsi que l'a montré le chapitre précédent, peuvent être espacés de 12 à 20 fois leur hauteur selon les conditions climatiques, et leur efficacité est supérieure à celle des murailles de cyprès fastigiés encore trop fréquentes. Cependant à ce sujet des études récentes faites par le centre de Bioclimatologie d'Avignon ont montré qu'une porosité de 30 p. cent avec des espacements plus serrés avait un rendement supérieur à la théorie qui donnait une porosité de 50 p. cent comme étant l'optimum. Du point de vue agronomique, la porosité optimale se situe entre 30 et 50 p. cent, suivant les conditions microclimatiques locales. Et les brise-vent traditionnels de cyprès fastigiés, si critiqués, retrouveraient alors plus ou moins leur raison d'être. Surtout si, comme certaines études récentes l'ont montré on les améliore en ébranchant la base afin de créer un écoulement d'air au niveau du sol pour éviter les turbulences et les vents de retour.

Il est nécessaire d'adapter les **techniques culturales** à l'utilisation des brise-vent : afin de limiter au maximum les pertes de place, les chemins de servitude doivent passer au pied même du rideau, groupés avec les canaux d'irrigation s'ils existent. L'extension horizontale des brise-vent doit être limitée par des rognages dans le sens de l'épaisseur et par un élagage des basses branches lorsqu'il s'agit de protéger un verger.

La surface réellement occupée par le brise-vent, même en conditions optimales (20 h) est relativement importante, et

cette surface tend à croître avec la hauteur des arbres : si on admet 3 m de part et d'autre du rideau pour les arbres de 8 à 15 mètres de haut. On doit compter 4 m pour 20 m de haut (soit respectivement 6 et 8 mètres de largeur du sol occupé pour l'enracinement majeur). Ceci représente 2 à 3 p. cent de la surface ainsi occupée pour **une direction du vent**. Si on est obligé d'avoir un recroisement (cas le plus général) la surface occupée par celui-ci s'ajoute (1 à 2 p. cent au moins), et ainsi 3 à 5 p. cent de la surface à protéger se trouve occupée.

En zone d'instabilité, on protège 10 à 12 fois la hauteur seulement, soit 4 à 6 p. cent d'occupation du sol pour une direction de vent, auquel s'ajoute le recroisement (2 à 3 p. cent au moins), et 6 à 9 p. cent de la surface agricole se trouve ainsi prise.

On peut pallier cet inconvénient en utilisant des brise-vent sans épaisseur comme les haies de canis dans le midi de la France, ou bien des films plastiques ; mais ces solutions coûteuses ne peuvent être utilisées que pour des cultures fragiles et onéreuses comme les cultures de légumes.

Limitation de la concurrence.

La concurrence racinaire des brise-vent peut être limitée efficacement grâce à des sous-solages alternés effectués de part et d'autre du rideau et à une distance judicieuse de celui-ci (3 m de part et d'autre par exemple). Cette opération supprimera, l'expérience le montre, la concurrence racinaire si une alimentation minérale correspondant aux besoins réels des arbres est fournie régulièrement, faute de quoi la concurrence existera toujours avec la culture à protéger. Les engrais doivent compenser les immobilisations dans les arbres et les exportations (bois de taille, éventuellement fruits ou feuilles).

Il en va de même en ce qui concerne la **compétition racinaire pour l'eau** : un brise-vent non irrigué en zone aride ou semi-aride ira chercher l'eau, là où elle se trouve ; c'est-à-dire dans les premiers rangs des cultures. Il est donc indispensable de l'alimenter correctement en eau, car cette concurrence peut se traduire par des pertes de rendement atteignant ou dépassant 80 p. cent par rapport au centre de la parcelle (figures 7 et 8), alors qu'une alimentation régulière en eau fait disparaître toute baisse de production à leur voisinage. La figure 8 montre la variation de production à l'intérieur d'une plantation d'orangers bordée d'un côté par un brise-vent non irrigué et de l'autre par un brise-vent irrigué. L'effet sur la production est très net et la diminution de récolte au centre du verger est due à la présence d'un ancien brise-vent arraché mais dont l'effet dépressif se fait encore sentir (BALDY et EL AMANI, 1968).

Influence de l'ombrage. La critique est plus fondée en ce qui concerne l'ombrage : celui-ci est difficile à éviter car l'implantation d'un brise-vent est fonction de la direction des vents. Si le vent est de direction est-ouest, les rideaux d'arbres rapprochés peuvent ombrager considérablement l'ensemble de la zone matin et soir. Dans le cas d'un vent orienté nord-sud, la face nord du brise-vent (dans l'hémisphère nord) a une action d'autant plus importante que celui-

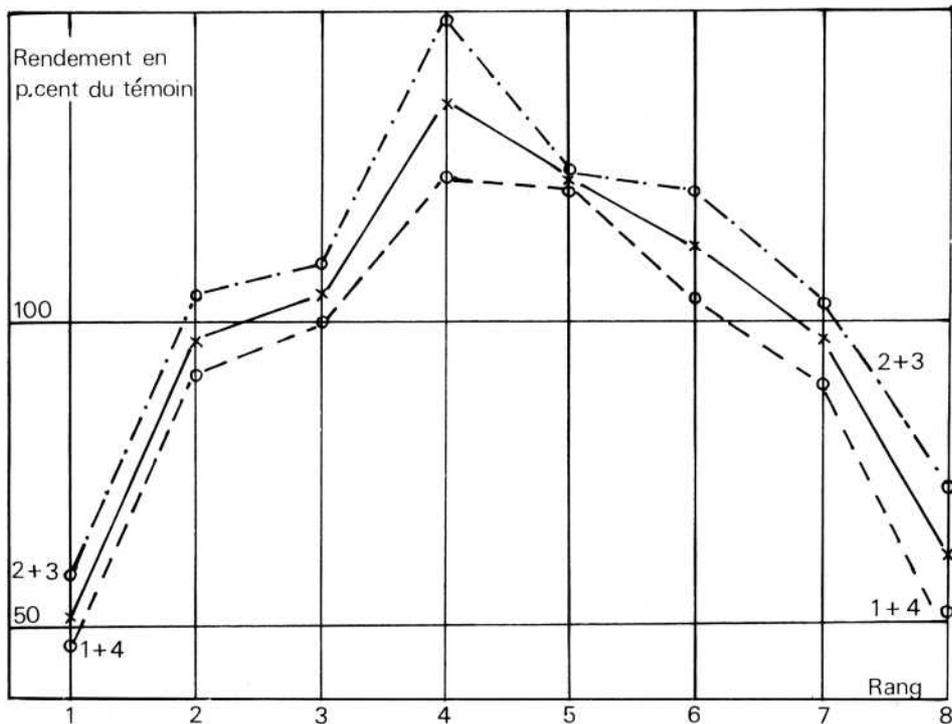


FIG. 7 - Évolution de la production par arbre à l'intérieur d'un verger d'orangers bordé par deux brise-vent non irrigués en Tunisie. Le trait continu représente la moyenne et les traits interrompus l'analyse par rapport aux rangs 2 et 3, et 1 et 4.

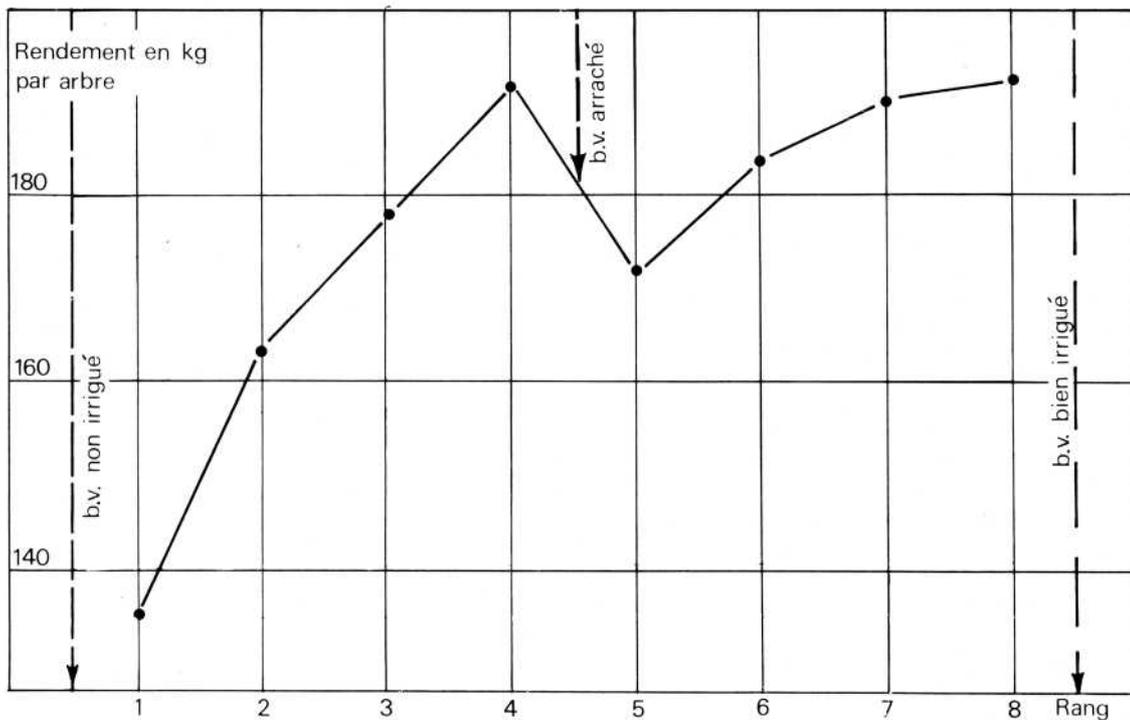


FIG. 8 - Évolution de la production par arbre à l'intérieur d'un verger d'orangers bordé par un brise-vent non irrigué et un brise-vent irrigué. La baisse de production entre les rangs 4 et 5 est due à la concurrence qu'avait exercé un brise-vent actuellement arraché.

ci est situé plus haut en latitude (pour 45° d'élévation solaire à midi l'ombre couvre la hauteur projetée du rideau). Cette difficulté peut être palliée en partie si les chemins de desserte passent systématiquement dans ces zones à rendement déprimé.

Cet effet de l'ombrage est d'ailleurs variable selon les conditions climatiques et il faut remarquer qu'un rideau semi-perméable laisse filtrer une partie du rayonnement solaire direct. En climat méditerranéen, en Tunisie, l'observation des rendements d'agrumes tend à montrer que l'effet de l'ombrage se traduit plutôt par un retard de la maturation (de l'ordre de 15 jours pour les citrons) au cours de l'hiver que par une baisse de production.

Accidents climatiques : gelée, échaudage, apoplexie.

Il a été montré, dans le chapitre précédent, qu'un brise-vent accroît le risque de gelée nocturne. L'abaissement de la température derrière un brise-vent peut atteindre 3°C et transformer ainsi une zone non gélive en zone gélive. Ce risque est évidemment grave mais ne doit pas être exagéré. L'abaissement de température est d'autant plus important que le brise-vent est plus dense (BALDY 1968). Donc un moyen simple pour limiter le risque de gelée est d'utiliser des brise-vent perméables. D'autre part certaines cultures telles que les vergers ne nécessitent pas une protection précoce, aussi, lorsque les gelées tardives sont à craindre, il est recommandé d'utiliser des arbres à feuilles caduques qui n'exercent qu'une protection très faible à cette époque de l'année.

Par ailleurs le cloisonnement par les brise-vent facilite l'utilisation des diverses techniques de lutte contre la gelée: chaufferettes, irrigation anti-gel ou brassage de l'air à l'aide de ventilateurs si l'inversion thermique est suffisamment importante.

Les effets de surchauffe sont en fait plus inquiétants. Des élévations de température de plusieurs degrés peuvent se produire derrière des brise-vent en zone aride quand soufflent les vents chauds et secs caractéristiques de ces régions : **sirocco**, **harmatan**. Aux conditions thermiques défavorables s'ajoute ainsi une surchauffe supplémentaire derrière le brise-vent et des cultures sensibles peuvent en pâtir considérablement : c'est le cas notamment des Citrus insuffisamment irrigués.

Il faut noter cependant que cet effet s'annule et s'inverse même s'il est possible d'irriguer au cours de ces périodes de surchauffe. L'évapotranspiration intense abaisse la température du feuillage et celle de l'air au voisinage de la plantation. Des précautions doivent cependant être prises: l'irrigation commencée en pleine période de surchauffe peut provoquer un choc physiologique tel sur les plantes sensibles comme le melon, le concombre ou la tomate que l'on aboutit à une apoplexie presque instantanée. Ce phénomène peut même se produire sur Citrus. Le remède est relativement aisé à trouver ; il faut irriguer en priorité les cultures sensibles dès que la météorologie prévoit l'installation de ce type de temps. S'il persiste pendant plusieurs jours, il est alors possible d'irriguer sans risque la nuit.

En conditions arides, lorsqu'il n'est pas possible d'irriguer il est alors préférable de ne pas utiliser les brise-vent qui risquent d'être plus nuisibles qu'utiles en accroissant les risques de surchauffe et les risques de gelées.

Maladies cryptogamiques.

Les brise-vent créent un microclimat favorable au développement des maladies cryptogamiques: l'humidité de l'air est plus élevée, la rosée est plus abondante et reste pendant plus longtemps sur les végétaux. La germination des spores s'en trouve donc facilitée.

Cet effet des brise-vent est surtout sensible dans les régions humides; dans les régions sèches il est beaucoup moins important, mais il est accentué par l'irrigation par aspersion qui a tendance à augmenter l'humidité de l'air.

Cependant si les brise-vent favorisent le développement des maladies cryptogamiques ils facilitent également leur traitement, le vent étant réduit. Les brise-vent pourraient limiter également l'extension des maladies cryptogamiques, en jouant le rôle de pièges pour les spores.

Les brise-vent peuvent également être décimés par des attaques de pourridiés en particulier. Dans la plupart des cas ces infestations ont pu être liées à des conditions édaphiques défavorables aux brise-vent: irrigations nulles ou insuffisantes espèces mal adaptées au sol (chlorose en particulier). Des études précises sur l'adaptation au milieu des arbres utilisés comme brise-vent, manquent encore.

Les pullulements d'insectes.

Le ralentissement du vent crée des conditions favorables également au pullulement des insectes. LEWIS (1967) a étudié la densité des insectes derrière un brise-vent artificiel. Les résultats de ces mesures sont résumés sur la figure 9. Le brise-vent avait environ 2,5 mètres de haut et la densité relative d'insecte est calculée en fonction de la densité à 5 mètres de haut. Les courbes d'égales densités sont à rapprocher des courbes d'iso-vitesses des figures 2 et 3. Au minimum de vitesse correspond un maximum de densité d'insectes.

Lorsque les brise-vent sont vivants, il a été mis en évidence un pullulement apparent des insectes à l'intérieur même du rideau. Il est possible que ce soit là le résultat d'un piégeage des insectes entraînés par le vent. L'action du brise-vent peut alors devenir positive s'il est traité systématiquement. Ces traitements peuvent également être effectués à des périodes où il est impossible de les entreprendre sur les cultures à protéger. De cette façon un contrôle efficace des déplacements d'insectes peut être assuré.

Les brise-vent peuvent eux-mêmes être attaqués en particulier par des insectes xylophages. Ceux-ci ont détruit complètement certaines haies de cyprès utilisées dans des conditions inadéquates.

Le brise-vent réservoir de parasites animaux et végétaux.

Les brise-vent denses ou les rideaux abris composés de plusieurs rangs d'arbres abritent souvent une flore abondante de mauvaises herbes souvent néfastes à la culture à protéger (chiendent, graminées et cypéracées diverses, chardons,

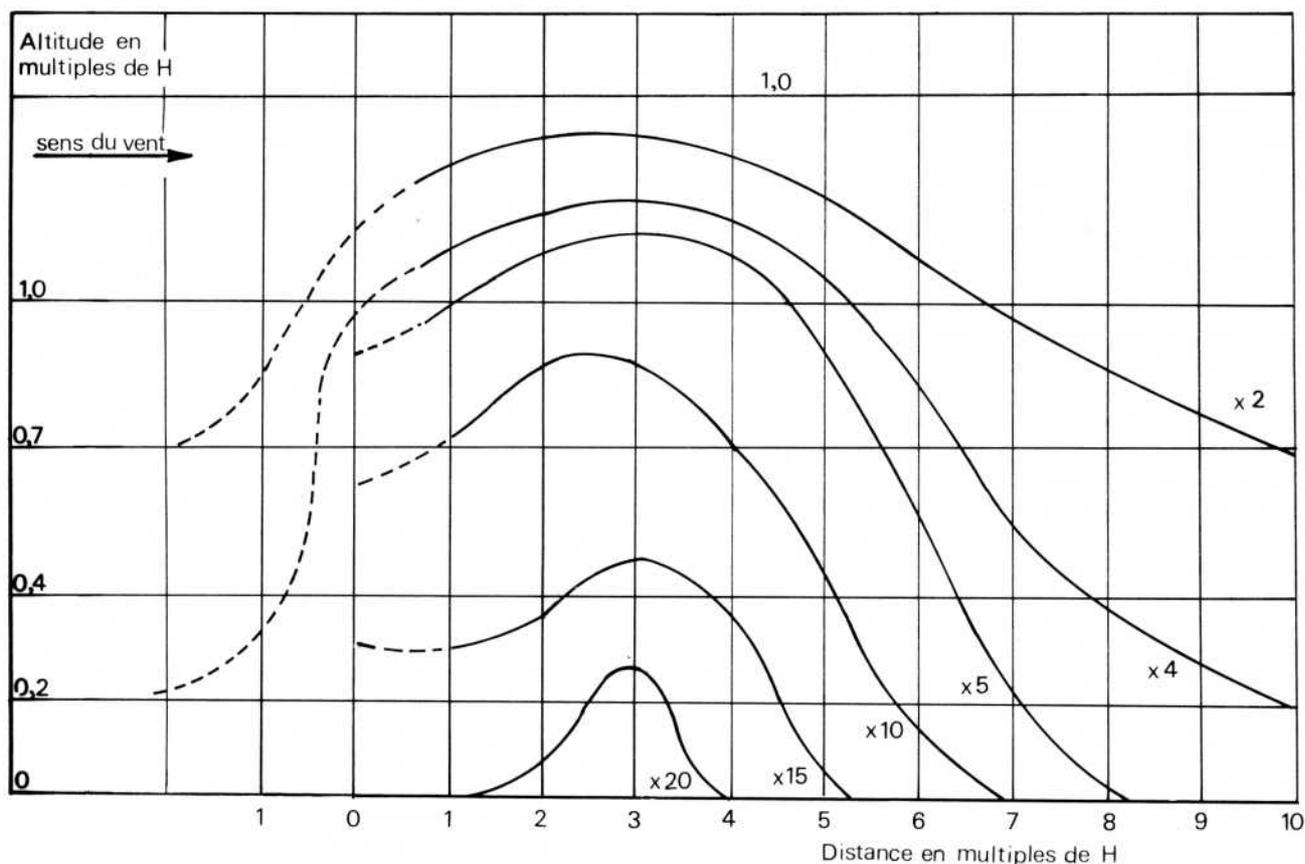


FIG. 9 - Influence d'un brise-vent artificiel de 2,5 m de haut environ et de porosité 45 p. cent sur la densité relative d'insectes dans l'air comparée à celle mesurée à 5 m de haut en zone témoin pour des vents de 1,3 à 3,6 m.s⁻¹ dont l'incidence est comprise entre 45 et 90 (d'après Lewis).

oxalis, etc., en régions méditerranéennes). La densité des arbres interdit souvent d'y pénétrer et les traitements phytotoxiques sont difficiles ou impossibles à réaliser. Les brise-vent peuvent également servir de refuges à des rongeurs.

Il a été montré plus haut que les brise-vent denses sont à proscrire pour des raisons physiques. Ils le sont aussi à cause de leur caractère de refuge pour les végétaux et les animaux nuisibles. Un brise-vent semi-perméable est aisé à nettoyer et, si l'on est amené à créer un rideau abri à plusieurs rangs, en périmètre extérieur par exemple, ou à maintenir ou créer une bande boisée, elle devra être organisée de manière à pouvoir être nettoyée régulièrement et à faciliter les traitements.

Cependant les brise-vent abritent également des insectes et des animaux utiles : insectivores (lézards, chauve-souris, oiseaux), petits rapaces, insectes hyperparasites. Ainsi le plus souvent il s'établit un certain équilibre dans la flore et la faune des brise-vent et le pullulement est évité de cette manière.

Il faut noter cependant que l'irrigation favorise encore plus le pullulement des parasites végétaux et animaux en

créant un microclimat plus favorable à la vie, principalement en zone aride ou le climat est très rude hors du périmètre irrigué.

LES AVANTAGES DES BRISE-VENT.

Réduction des dégâts mécaniques dus au vent.

L'effet des brise-vent le plus connu est la réduction des dégâts mécaniques dus au vent. De faible importance en général pour les plantes basses, il peut être spectaculaire pour les plantes élevées telles que les arbres fruitiers, par exemple. C'est ainsi qu'un brise-vent semi-perméable implanté, dans la région parisienne, dans un verger de poiriers, a été l'une des causes de l'accroissement de la surface foliaire de 20 à 30 p. cent selon les années (GUYOT, 1964 B), ce qui a donc accru sensiblement les possibilités de photosynthèse.

En conditions arides les brise-vent réduisent également les dégâts mécaniques sur les fleurs et les bourgeons, causés par les transports de sable. Dans le cas précis du sud tunisien il a été noté que la quasi totalité des fleurs d'oliviers étaient

stérilisées par une gaine de poussière de sable collée sur les pistils.

Accroissement de la précocité.

Les brise-vent sur sol nu occasionnent une élévation de la température diurne de l'air et du sol. Ces modifications du cycle thermique peuvent être mises à profit par les cultures protégées et leur donner une avance de plusieurs jours, ce qui est intéressant pour une production de primeurs dans les pays méditerranéens ou maritimes doux.

Diminution de la consommation globale d'eau ou meilleure utilisation de celle-ci.

Nous avons vu dans la première partie les relations qui existent entre ETP, ETR et le débit maxima Q_x , ainsi qu'avec la production de matière sèche. Or la production est

fonction de l'état de sécheresse physiologique de la plante. Et ce dessèchement 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 en eau. Il peut ainsi se manifester même lorsque les conditions d'humidité du sol sont satisfaisantes.

Pour accroître la production agricole, il faut donc réduire ce déséquilibre, soit en augmentant l'offre (irrigation) soit en diminuant la demande (brise-vent) soit en agissant sur les deux facteurs à la fois (ce qui fait l'objet de notre étude).

Les effets de la réduction de l'ETP par un brise-vent.

Les schémas de la figure 10 représentent d'une manière très simplifiée les phénomènes qui peuvent se produire derrière un brise-vent en climat subhumide ou en zone aride

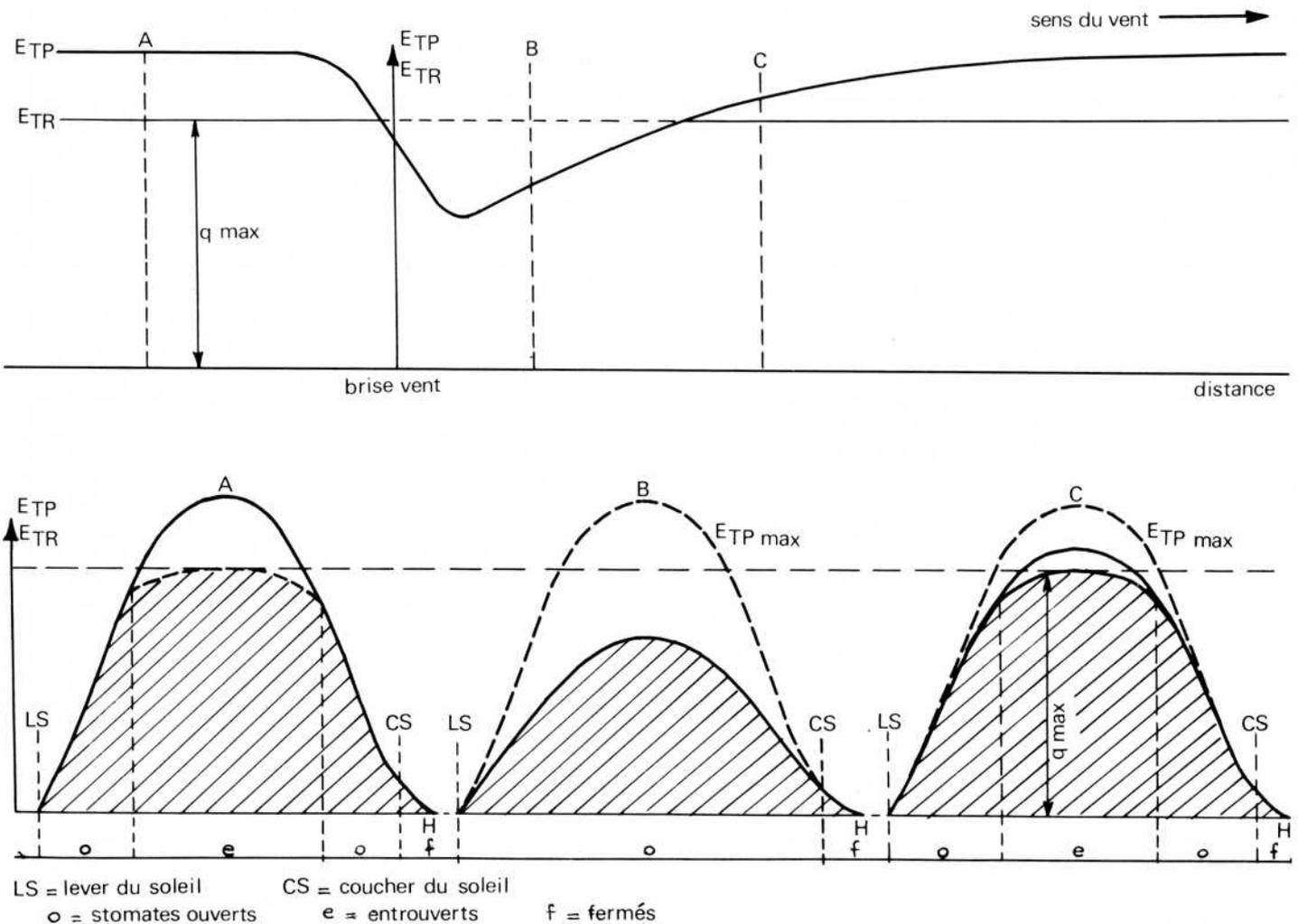


FIG. 10 - Schéma résumant l'effet d'un brise-vent sur le rendement. La partie supérieure représente la variation de ETP et ETR en fonction de la distance au brise-vent au moment où ETP est maximal (A) (B) (C) indiquent la variation journalière de ETP et ETR à différentes distances du brise-vent.

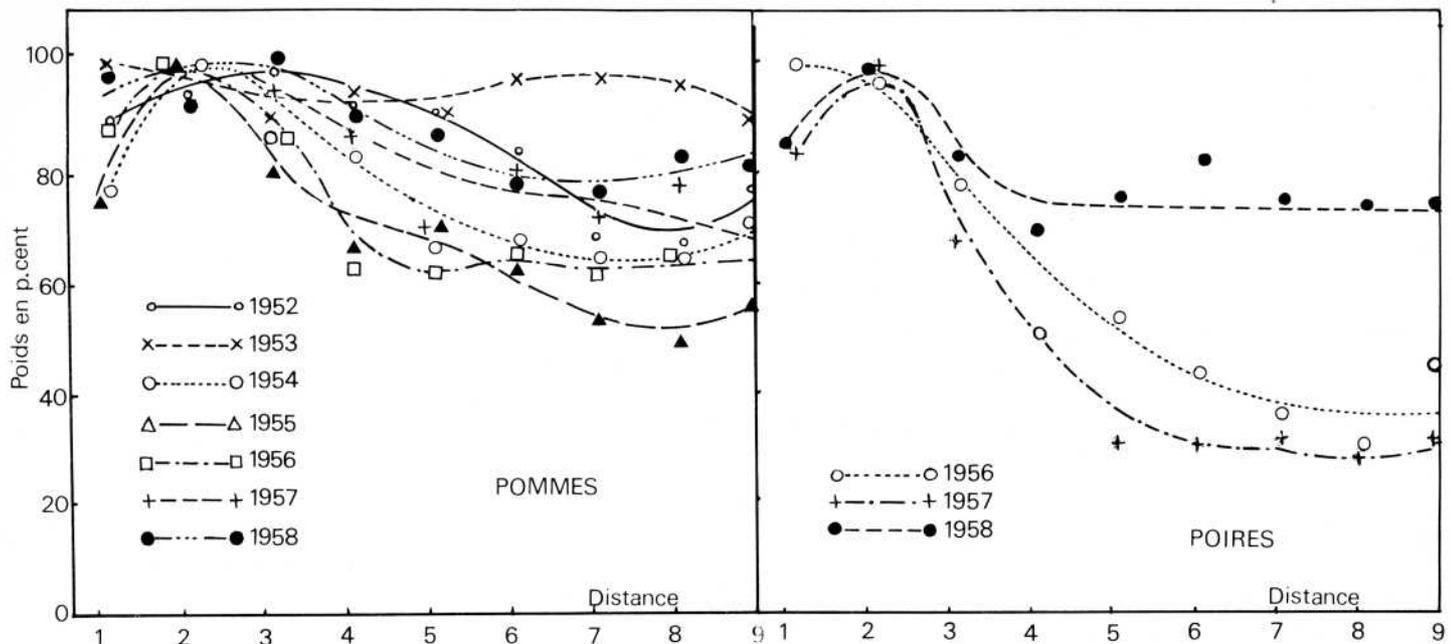


FIG. 11 - Effet d'un brise-vent sur la production moyenne d'arbres fruitiers (d'après Van Rhee).

en cultures irriguées. La partie supérieure représente d'une part les variations de la demande en eau (ETP) à l'heure où elle est maximale en fonction de la distance au brise-vent, d'autre part la quantité 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 (témoin). En B, ETR est toujours inférieur à Q_x . Dans ces conditions, la régulation stomatique n'apparaît pas et la quantité de matière sèche synthétisée est maximale ; C correspond au cas intermédiaire.

La comparaison des surfaces hachurées de la figure 10 permet de constater que la quantité d'eau consommée est minimale en B. Ainsi le brise-vent permet non seulement un accroissement de la production, mais encore une diminution de la quantité d'eau consommée.

Ceci n'est, bien sûr, qu'une interprétation schématique. Mais elle doit cependant être assez proche de la réalité. En effet, des mesures effectuées sous différentes conditions climatiques ont montré l'existence générale de ce phénomène de régulation stomatique même pour les plantes parfaitement alimentées en eau (BOUCHET, GUYOT, de PARCEVAUX, 1968 ; FOUGEROUZE 1968 A).

Une vérification de cette théorie a été effectuée près de Versailles en 1962 sur une culture de blé «Cappelle».

D'après la figure 10 il est possible de prévoir l'allure qu'aura la courbe représentant la variation de la production en fonction de la distance à un brise-vent. Elle doit ressembler à l'inverse de la courbe représentant la variation de

ETP. La figure 11 due à VAN RHEE (1959) le confirme tout à fait.

Dans la région parisienne, où l'ETP moyen est de l'ordre de 4,5 mm par jour en juillet, les brise-vent peuvent être responsables en réduisant ETP, d'un accroissement de production de 10 à 20 p. cent. Aux Antilles où les conditions d'évaporation sont beaucoup plus sévères (7 à 8 mm par jour) les brise-vent entraînant une augmentation de la production de 30 p. cent à plus de 200 p. cent (FOUGEROUZE 1968 B). On peut donc s'attendre à obtenir en régions arides, grâce aux brise-vent, un accroissement de la production de l'ordre de 20 à 30 p. cent sur les plantes maraîchères, à conditions toutefois que les températures atteintes dans la zone protégée ne soient pas trop excessives ; ce point reste encore à préciser.

Si un brise-vent est implanté sur une culture en sec, il réduira également ETP, mais il ne réduira pas forcément ETR. En effet les plantes situées en zone ouverte fermeront leurs stomates pendant la plus grande partie de la journée, tandis que celles situées dans la zone protégée pourront les ouvrir pendant plus longtemps car elles seront soumises à des conditions de sécheresse moins sévères. Aussi la quantité d'eau consommée derrière le brise-vent pourra-t-elle être plus importante qu'en zone témoin. Les réserves du sol seront donc épuisées plus rapidement. Les plantes protégées, qui jusque là avaient poussé dans des conditions moins sévères, seront moins armées pour lutter contre la sécheresse et elles dépériront alors d'autant plus rapidement que l'arrêt de la transpiration s'accompagnera d'une élévation de la température. Le brise-vent aura donc dans ce cas un

effet très défavorable. Pour vérifier le bien-fondé de ces affirmations différentes expériences ont été effectuées dans le Sud de la France et aux Antilles (GUYOT 1967, FOUGEROUZE 1968 B). Le tableau suivant donne les résultats des essais effectués aux Antilles.

Ce tableau permet de constater que le brise-vent a augmenté sensiblement les températures maximales et la production a été nettement plus faible derrière le brise-vent, alors que ETP était réduit d'une manière assez importante. Par conséquent en climat aride, si le brise-vent est à conseiller pour la protection des cultures irriguées, il doit être formellement déconseillé pour la protection des cultures en sec.

Réduction de l'érosion éolienne.

L'intensité de l'érosion éolienne dépend entre autre de la vitesse du vent et de la distance que celui-ci peut parcourir sans rencontrer d'obstacle (GUYOT 1969). Le rôle des brise-vent dans la lutte contre l'érosion éolienne est donc double : d'une part ils ralentissent le vent et d'autre part ils limitent la distance parcourue par celui-ci sans rencontrer d'obstacle.

Les brise-vent destinés à lutter contre l'érosion éolienne doivent donc être assez rapprochés, sinon ils s'ensablent. Leur hauteur peut être relativement faible, les particules en saltation ne dépassant pas l'altitude de 1 m. Les brise-vent doivent être perméables sinon ils produisent des tourbillons qui facilitent le transport du sol.

Les brise-vent seuls ne permettent pas cependant de supprimer totalement les phénomènes d'érosion éolienne, ils doivent être associés à d'autres méthodes de fixation du sol : mulch, cultures d'engrais vert ...

Le problème de l'ensablement des brise-vent est très gênant lors de l'installation d'un périmètre irrigué, car si l'on ne prévoit pas ce phénomène, les premiers rangs d'arbres et les cultures qui se trouvent derrière disparaissent sous le sable. Il est donc nécessaire de prévoir en amont des premiers brise-vent pour les cultures, une série de petits brise-vent pour éviter l'ensablement d'une partie de la zone

aménagée.

Réduction de l'érosion hydrique.

En ce qui concerne les précipitations liquides, deux cas peuvent se présenter :

Tout d'abord, des précipitations abondantes peuvent engorger les sols à certaines périodes. C'est le cas notamment en régions tropicales, mais aussi parfois en zone tempérée. Des réseaux de fossés permettent un certain drainage de surface, mais des rangs d'arbres peuvent jouer un rôle analogue. C'est pourquoi, en région tropicale, et aussi dans les bas-fonds en zones arides on a intérêt à utiliser des arbres résistants (à l'ennoiment, à la salure, etc.) pour évaporer au maximum les eaux provisoirement excédentaires : des haies d'arbres évaporent en effet proportionnellement à leur périmètre et non à leur surface au sol. Des résultats doublement intéressants peuvent ainsi être obtenus puisqu'à l'évacuation de l'eau en excès s'ajoute une production ligneuse qui peut être importante. En saison sèche ces haies d'arbres jouent leur rôle de brise-vent quand les vents desséchants soufflent.

Dans d'autres cas les rideaux d'arbres permettent de lutter contre l'érosion hydrique. Plantés en courbe de niveau ou en bas de pentes ou encore en bordure de cours d'eau, ils maintiennent les sols grâce à leur système racinaire puissant et facilitent la pénétration de l'eau dans le sol.

Toutes les espèces ne jouent pas ce rôle avec la même efficacité, et on a pu noter (en Tunisie) que la plupart des eucalyptus plantés en bord d'oued se laissent déraciner facilement. Les peupliers, par contre, à condition d'être plantés en barbatelles, développant un enracinement profond, réagissent beaucoup mieux.

Production de bois par les brise-vent.

Plantés dans d'excellents terrains agricoles, fumés, irrigués et soignés comme les cultures qu'ils abritent, les réseaux d'arbres brise-vent ont normalement une croissance optimale et peuvent fournir une importante quantité de bois. C'est pourquoi il apparaît de plus en plus important

Influence d'un brise-vent sur le rendement de différentes cultures en conditions sèches.

Cultures	Zone ouverte				Zone protégée				Rapport Pp/Pt %
	U	Tm	ETP	Pt	U	Tm	ETP	Pp	
haricots : avril-juillet 1966	2,8	31,0	7,9	3,5	1,2	32,2	5,2	0,4	11
tomates : avril-juillet 1966	2,8	31,0	7,9	5,0	1,2	32,2	5,2	4,3	87
tomates : décembre 1966- mars 1967	3,4	28,8	5,1	5,4	1,0	30,7	2,7	4,8	89

U : vitesse moyenne du vent de jour à 1 m du sol en m.s.⁻¹

Tm : température maximale moyenne en °C.

ETP : évapotranspiration moyenne mm.j⁻¹.

Pt : productivité du témoin en t.ha⁻¹.

Pp : productivité en zone protégée en t.ha⁻¹

d'étudier à la fois la résistance au climat et la valeur marchande des arbres plantés pour protéger un périmètre irrigué. Mais afin de garder aux arbres toute leur valeur, il est nécessaire de bien les entretenir pendant toute la durée de leur croissance, afin d'obtenir des fûts de 3 à 4 mètres de haut.

On peut noter que dans de nombreux cas les brise-vent sont constitués d'arbres fruitiers (abricotiers et noyers de Damas par exemple) dont le rendement en fruits est important et qui produisent in-fine des bois précieux de haute valeur (loupe de noyer, bois de rosacées).

Finalement nous voyons qu'en climat aride des brise-vent ne peuvent avoir de raison d'être sans l'irrigation, et d'autre par l'irrigation a tout à gagner de la protection des brise-vent. C'est une association à double sens chacun profitant à l'autre ; et nous allons essayer maintenant de donner quelques conseils pour l'implantation de brise-vent dans un périmètre irrigué.

CONSEILS POUR L'IMPLANTATION DES BRISE-VENT EN ZONE ARIDE

FACTEURS INTERVENANT DANS LE CHOIX DES BRISE-VENT.

Le climat.

Les chapitres précédents ont montré que les brise-vent ont des effets différents selon les conditions climatiques leur espacement et leur constitution dépendront donc de la région où ils seront implantés.

En climat méditerranéen la zone d'action d'un brise-vent est de 12 à 15 fois sa hauteur. Dans certains cas il risque d'aggraver le caractère excessif du climat (gelées tardives, surchauffe). Aussi, afin de limiter l'influence défavorable qu'ils peuvent avoir sur les cultures, il faut choisir des brise-vent perméables dont l'espacement ne sera pas trop faible. Il est également préférable qu'ils n'exercent alors qu'une action très limitée au printemps ; pour cela les arbres à feuilles caduques doivent être retenus. Lorsque les gelées printanières ne sont pas à craindre les conifères ou les eucalyptus sont très indiqués.

En climat tropical les rideaux créés utiliseront autant que possible les espèces à feuilles caduques en saison des pluies. Ceci peut paraître paradoxal mais est appuyé sur des études récentes effectuées à ce sujet (FOUGEROUZE 1968 B).

Les cultures à protéger.

Pour les cultures industrielles le seul souci qui guide les producteurs est l'accroissement global de la production, les problèmes de précocité ne se posent pas. Les brise-vent constitués par des arbres à feuilles caduques conviennent très bien à ce genre de production d'autant plus que ces cultures doivent être mécanisées et demandent donc de grandes parcelles.

Pour les cultures maraîchères le problème de précocité

se pose avant tout et il est donc nécessaire que les brise-vent offrent une protection précoce. Les rideaux d'arbres à feuilles persistantes seront tout à fait indiqués.

Pour la protection des vergers, les brise-vent doivent être hauts afin de dominer suffisamment les arbres fruitiers.

Le type d'aménagement de la région.

Le choix des brise-vent dépend également du type d'aménagement d'une région. Lorsque des travaux coûteux ont été entrepris pour irriguer le sol il est nécessaire que les brise-vent occupent une surface aussi faible que possible. Ils ne doivent comporter alors qu'un seul rang d'arbres.

Lorsque la région est aménagée pour des cultures industrielles la superficie occupée par le réseau de protection peut être plus important et des brise-vent comportant plusieurs rangées peuvent être employés.

CONSTITUTION D'UN RÉSEAU DE BRISE-VENT

La protection d'une zone nécessite un cloisonnement par un réseau de brise-vent. S'il s'agit d'une zone à irriguer, le réseau de brise-vent conditionne toute l'infrastructure du réseau d'irrigation, car les rideaux d'arbres doivent avant tout être perpendiculaires à la direction des vents dominants. D'autre part ce réseau, afin de faciliter les rotations culturales et les travaux mécaniques, doit avoir des mailles aussi grandes que possible. Celles-ci constituent le réseau primaire.

Mais pour certaines cultures la protection offerte par ce réseau peut être insuffisante : il faut alors découper chacune des mailles du réseau primaire par un réseau secondaire.

Le réseau primaire.

Dans un réseau on distingue les brise-vent principaux qui sont implantés perpendiculairement à la direction des vents dominants et les brise-vent secondaires qui sont disposés perpendiculairement aux premiers.

La distance D séparant deux brise-vent principaux successifs varie entre 12 et 15 fois leur hauteur en climat aride.

Cependant il n'est pas souhaitable de réduire l'espacement des brise-vent à une valeur inférieure à 12 fois leur hauteur, car l'accroissement de la protection serait assez faible et ne compenserait pas la perte de terrain, comme le montrent les travaux de NAGELI (1965).

La distance séparant deux rideaux secondaires est en général supérieure à D , car les vents dont la direction est sensiblement perpendiculaire à celle des vents dominants sont ordinairement peu fréquents. Le rôle de ces brise-vent secondaires est surtout d'empêcher ces vents de s'engouffrer entre les rideaux principaux. Habituellement l'espacement des rideaux secondaires est égal à $2D$. Mais cela peut varier en fonction des conditions locales et aussi si le réseau d'irrigation l'exige, comme par exemple la longueur des raies qui ne peut généralement pas dépasser 300 mètres de long.

En zone aride par exemple pour un réseau primaire constitué par des peupliers de 15 mètres de haut la distance D séparant deux rideaux principaux doit être de 200 mètres. Au début de la plantation cet espacement peut être réduit de moitié et au bout de 10 ou 12 ans un rideau sur deux est alors exploité.

Pour constituer ce réseau primaire il n'est pas souhaitable d'utiliser des brise-vent comportant de nombreuses rangées d'arbres ; sauf en limite de périmètre, en climat aride, où les bandes larges sont nécessaires. En effet lorsque la largeur d'un brise-vent augmente sa porosité diminue : il est donc moins efficace. Dans les mêmes conditions une bande boisée de 50 mètres de large protège 10 fois sa hauteur alors qu'un brise-vent ne comportant que 2 ou 3 rangs d'arbres protège 20 fois sa hauteur.

Les brise-vent étroits sont très efficaces à condition de présenter une porosité uniforme sur toute leur hauteur.

Si une certaine production de bois d'oeuvre est envisagée il est nécessaire d'ébrancher les arbres destinés à cette production. Il faut alors fermer la base du brise-vent soit en utilisant des claies soit en plantant une autre espèce destinée à fermer la base. Différentes solutions peuvent être envisagées.

En climat méditerranéen, les peupliers peuvent être asso-

ciés aux cyprès par exemple. La figure 12 donne les espacements des arbres pour un brise-vent constitué par une seule rangée où sont associés peupliers robusta et cyprès horizontaux. Il est possible d'envisager d'autres solutions par exemple pour un rideau d'eucalyptus comportant deux rangs : une rangée est ébranchée et l'autre est recépée.

Le réseau secondaire.

Le réseau secondaire est destiné à accroître temporairement la protection exercée par le réseau primaire. Étant donné le rôle qui lui est assigné il doit être généralement constitué par des brise-vent artificiels : claies de cannes, de palmes sèches, etc. ou bien par quelques rangs de maïs ou de sorgho qui ont l'avantage de donner eux aussi une récolte.

L'espacement de ces rideaux est fonction de l'effet attendu ; il est compris en général entre 10 et 15 fois leur hauteur. Ce réseau présente également une certaine utilité lors de l'aménagement d'une zone où les arbres n'exercent pas encore une protection efficace.

Le réseau d'irrigation.

Les canaux primaires, secondaires et tertiaires qui transportent l'eau pour l'irrigation des parcelles doivent suivre les rangées de brise-vent afin de prendre le moins de place possible sur les cultures. Et l'on ne doit surtout pas oublier

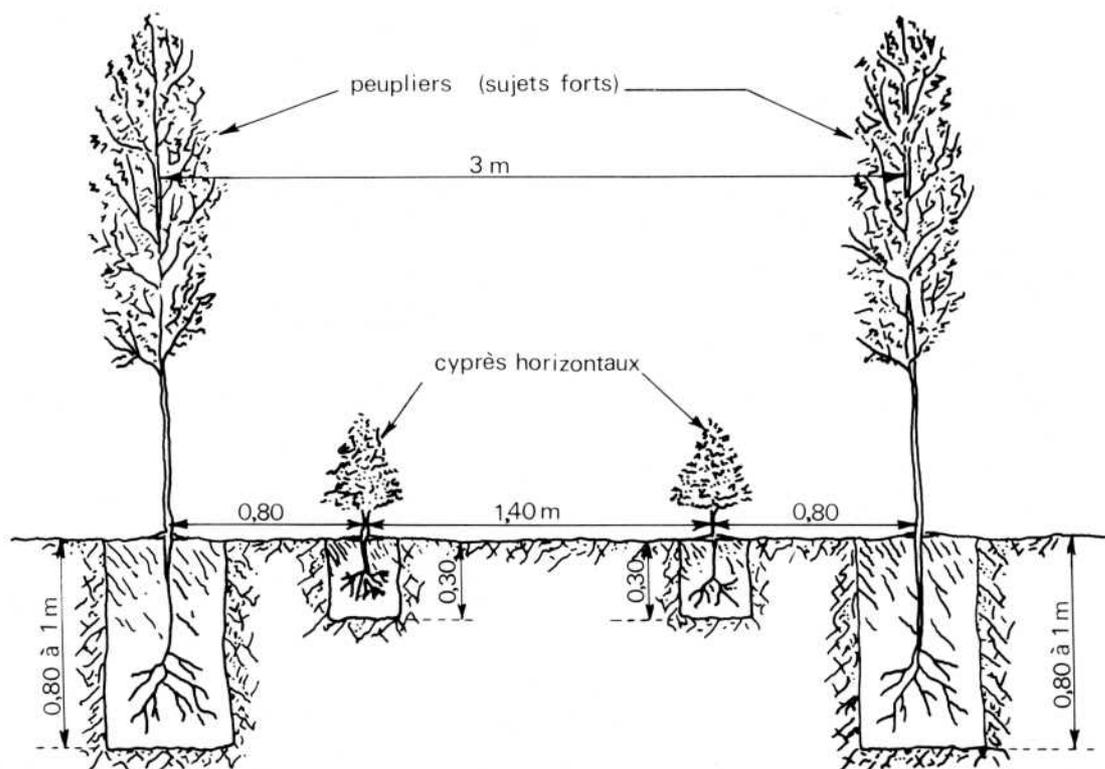


FIG. 12 - Exemple de brise-vent où sont associés peupliers robusta et cyprès horizontaux.

d'irriguer également les brise-vent pour éviter une concurrence néfaste aux premiers rangs de la culture.

CONCLUSION

Les brise-vent ont une vaste extension mondiale. De la Russie au sud-est asiatique, des pampas d'Argentine aux oasis sahariennes, leur importance se fait sentir de plus en plus.

Les inconvénients qu'on leur reconnaît sont largement compensés par leurs avantages. Ces inconvénients peuvent d'ailleurs être atténués sinon supprimés lorsqu'on en connaît les causes et le mécanisme.

Sur le plan cultural, des progrès importants sont encore à faire pour sélectionner et produire des arbres capables d'utiliser au maximum les conditions exceptionnellement favorables qu'offrent les terres cultivées dans lesquelles ils sont placés.

Des recherches doivent encore être entreprises pour

obtenir des arbres poussant bien en alignements, ne se dégarnissant pas trop rapidement, résistant aux pourridés et ayant des caractéristiques aérodynamiques convenables.

Les bénéfices à attendre des brise-vent sont triples.

Tout d'abord ils occasionnent une augmentation de la production en quantité et en qualité. Dans certains cas ils accroissent la précocité des récoltes. Mais il faut se rappeler que l'augmentation de récolte doit être supérieure à 10 p. cent pour être significative puisque le brise-vent occupe environ cet espace.

Ensuite ils permettent généralement une économie d'eau par une meilleure utilisation de celle-ci par les plantes, surtout lorsque l'irrigation est bien menée.

Enfin ils fournissent une certaine quantité de bois en fin de cycle (à condition de prévoir le renouvellement des rideaux par roulement, au moment optimal). Ce deuxième aspect est souvent oublié alors que la valeur des bois produits n'est nullement négligeable et pourrait être doublée quand les efforts de sélection actuellement entrepris auront porté leurs fruits.

L'auteur adresse ses remerciements à MM. CUILLE, LOSSOIS et MARTIN-PRÉVEL de l'Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC), aux chercheurs du Département de Bioclimatologie de l'INRA ; en particulier à MM. ARCHER et CRUIZIAT du Centre de Versailles, MM. DAUDET et VALANCOGNE du Laboratoire de Physique des sols de l'INRA, M. SEGUIN du Centre de Montfavet près d'Avignon, grâce auxquels ce travail a pu être fait.

BIBLIOGRAPHIE

- BALDY (Ch.). 1967.
Quelques indications pratiques concernant les brise-vent des périmètres irrigués du nord et la reconversion des palmeraies littorales.
Bulletin d'information de l'INRPT, n°6-7, p. 13-24.
- BALDY (Ch.) et EL AMMAMI. 1968.
Action des brise-vent sur le climat et le rendement. Analyse des mesures et pesées de récoltes d'agrumes effectuées dans différentes conditions en Tunisie.
Ann. de l'INRAT, vol. 41.
- BOUCHET (R.), GUYOT (G.) et de PARCEVAUX (S.). 1968.
Augmentation de l'efficacité de l'eau et amélioration des rendements par réduction de l'ETP au moyen de brise-vent.
UNESCO, 1968.
- BROCHET (P.) et GERBIER (N.). 1968.
L'évapotranspiration.
Monographies de la météorologie nationale n°65.
- FOUGEROUZE (J.). 1968 A.
Agronomical value of windbreak in the caribbean zone cultural responses and basis for interpretation.
C.R. Caribbean Food crops society.
- FOUGEROUZE (J.). 1968 B.
L'effet brise-vent en climat tropical d'alizés.
L'agronomie tropicale, nov. 1968, 11.
- GUYOT (G.). 1964 A.
Les brise-vent et le facteur eau.
L'équipement agricole, numéro spécial, dec.
- GUYOT (G.). 1964 B.
Eau et verger. Intérêt des brise vent.
Congrès pomologique, 95e session, oct. 1964.
- GUYOT (G.). 1967.
Intérêt et dangers des brise-vent en agriculture.
10e Colloque sur les plastiques en agriculture.
- GUYOT (G.). 1968.
Les brise-vent au Jutland.
BTI 234.
- GUYOT (G.). 1969.
L'érosion éolienne,
Numéro spécial BTI 237.
- HALLAIRE (M.). 1960.
Irrigation et utilisation des réserves naturelles.
Ann. agron. 12.
- KARSCHON (R.). 1958.
Pennisetum purpureum comme brise-vent.
Union internationale des Instituts de Recherche forestière.
- LEWIS (T.). 1967.
The horizontal and vertical distribution of flying insects near artificial windbreaks.
Ann. Appl. Biol., 60.
- MARION (J.). 1960.
L'avenir du bocage breton. Talus boisés et brise-vent.
Cahiers des Ing. agron., n°142.
- NÄGELI (W.). 1965.
Über die windverhältnisse im Bereich gestaffelter windschutzstrifen.
Mémoires Institut Suisse de Recherches forestières, 41.
- O.M.M. 1964.
Windbreaks and scelterbalts.
Technical note n°59.
- VAN THEE (J.A.). 1959.
Wind protection of agricultural crops especially studied on fruits (I.T.B.O.N.) Arnhem n° 43.