Communication au colloque sur l'agrométéorologie et la protection des cultures dans les zones semi-arides. Niamey 8-12 décembre 1986.

INFLUENCE DU VENT SUR LA DISPERSION DES MALADIES VIRALES TRANSMISMES PAR ALEURODES

YAO N'GUETTIA*, R., FARGETTE**, D. & FAUQUET**, C.

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
ORSTOM

Centre d'Adiopodoumé
Laboratoire de Bioclimatologie ** Laboratoire de Phytovirologie
BP V 51 Abidjan
Côte d'Ivoire (Ivory Coast)

SOMMAIRE

1. **Introduction**

2. **Profil de vent et déplacement des aleurodes**
   2.1. Profil de vent.
   2.2. Couche limite.
   2.3. Déplacement à l'intérieur de la couche limite.
   2.4. Déplacement au dessus de la couche limite.

3. **Déplacement des aleurodes et dispersion de la maladie**
   3.1. Répartition des aleurodes à l'intérieur et au dessus du couvert.
   3.2. Orientation du déplacement des aleurodes à l'intérieur et au dessus d'un couvert.
   3.3. Répartition de la maladie.
   3.4. Gradients d'environnement.
   3.5. Gradients de dispersion.

4. **Répartition des aleurodes et distribution de la maladie en présence d'un obstacle**
   4.1. Accumulation des aleurodes et répartion de la maladie derrière un brise-vent.
   4.2. Accumulation des aleurodes et répartition de la maladie en bordure de parcelle.
   4.3. Importance de l'obstacle et répartition de la maladie.

5. **Phénomènes climatiques et dispersion de la maladie**
   5.1. Préambule.
   5.2. Le Front Intertropical (F.I.T).
   5.3. Mécanisme d'accumulation.
   5.4. Brises de mer/terre, orages.

6. **Conclusion**

7. **Bibliographie**

8. **Légendes**

1. Introduction

L'aleurode *Bemisia tabaci* transmet des maladies virales à de nombreuses cultures: manioc, tomate, gombo, soja, niébé, tabac, cotonnier... Ces maladies sont localisées pour la plupart dans la zone intertropicale entre les 30ème parallèles sud et nord. Elles sévissent dans les régions équatoriales, tropicales, sub-tropicales, méditteranéenes et désertiques. Les possibilités de déplacement propres de l'insecte étant réduites, sa dissémination est étroitement dépendante de la vitesse et de la direction du vent (Byrne, 1986). La compréhension de l'épidémiologie de ces maladies passe donc nécessairement par l'analyse des relations qui existent entre la dissémination de l'agent pathogène, les mouvements de l'insecte vecteur et les caractéristiques du vent. Ces relations n'ont été que rarement étudiées, en raison de l'absence d'équipes pluridisciplinaires Virologie/Entomologie/Bioclimatologie.

Dans cette communication, nous avons rapproché des phénomènes climatiques généraux concernant le vent (profil de vent dans une parcelle, direction et vitesse de vent, effet d'un brise-vent, front intertropical, brise de terre et de mer...) des caractéristiques du mouvement des aleurodes et de la dissémination de la maladie observées dans nos expériences au cours des programmes pluridisciplinaires "Epidémiologie de la Mosaïque Africaine du manioc" et "Les maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest". A partir de ces rapprochements, nous avons émis des hypothèses qui permettent de rendre compte de l'influence du vent sur la dispersion des maladies virales transmises par aleurodes. Il s'agit actuellement *d'hypothèses cohérentes* qui s'appuient sur un faisceau d'informations concordantes mais qui néanmoins ne constituent pas des preuves directes de relations causales. Ce travail permet cependant d'aborder sous un angle nouveau le problème, crucial pour la mise au point de méthodes de lutte, de la dispersion de ces maladies, importantes économiquement mais encore très mal connues. La plupart des hypothèses émises ici sont actuellement en cours d'études dans *le* cadre des trois programmes pluridisciplinaires "Etude de la Mosaïque Africaine du manioc" "Les maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest" et "Biologie de *Bemisia tabaci*, vecteur de maladies virales". Si la majorité des données expérimentales provient de l'étude de la Mosaïque africaine du manioc, il est vraisemblable que les relations mises en évidence entre le vent, le vecteur et la maladie puissent s'appliquer à d'autres maladies virales transmises par aleurode.

2. Profil de vent et déplacement des aleurodes

2.1. Profil de vent. Les caractéristiques du vent au dessus d'une surface (sol nu, ou couvert végétal) diffèrent profondément de celles que l'on observe à l'intérieur d'un couvert végétal (Wright & Lemon, 1966 ; Perrier *et al.*, 1970). Les déplacements des aleurodes y sont de nature différente et la dispersion de la maladie ne s'y fait pas suivant les mêmes modalités.

Au dessus d'une surface la vitesse du vent U augmente rapidement et de façon logarithmique avec la hauteur Z (Zadoks & Schein, 1979) (fig.1).

$$U = a. \mathrm{Log}[(Z-D)/Zo]$$

où D et Zo sont des paramètres qui caractérisent respectivement la hauteur de déplacement du plan de référence et sa rugosité. A l'intérieur d'un couvert végétal, les vitesses du vent sont réduites, l'augmentation de la vitesse avec la hauteur est beaucoup plus faible et le profil de vent n'est pas nécessairement de type

logaritmique. Le profil de vent est alors déterminé essentiellement par l'architecture du couvert (indice foliaire (I.F), répartition des feuilles...) et les caractéristiques de la culture (densité de plantation...) (Colville, 1968). Ainsi un indice foliaire élevé ou une forte densité va fortement réduire la vitesse du vent dans le couvert (fig.1). Le profil de l'I.F. va alors dicter l'allure du profil de vent dans le couvert.

2.2. Couche limite. Taylor (1960) introduit la notion de couche limite pour le vol de l'insecte comme la couche à l'intérieur de laquelle la vitesse de vol de l'insecte est supérieure à la vitesse du vent. La profondeur de cette couche fluctue en fait d'un instant à l'autre avec les variations de la vitesse du vent, est fonction de l'architecture du couvert (de son indice foliaire en particulier) et est déterminée aussi par la capacité intrinsèque de vol de l'insecte. La couche limite et la couche supérieure forment deux zones à l'intérieur desquelles les déplacements de l'insecte sont de nature profondément différentes. En effet, à l'intérieur de la couche limite, l'insecte est capable de contrôler son vol, de se déplacer activement et d'atteindre un objectif. Au dessus de la couche limite au contraire, la vitesse du vent est supérieure à celle de l'insecte, aucune progression ne peut être faite contre la direction du vent; l'insecte est alors transporté passivement. La couche limite dépend donc de la vitesse de déplacement propre de l'insecte (fig.1). Il n'existe pas, à notre connaissance, de mesure directe de la vitesse de vol de *Bemisia tabaci*. Cependant, une relation générale établie entre la taille des insectes (envergure des ailes x longueur du corps) et leur vitesse de vol (Lewis et Taylor, 1967) donne pour *Bemisia tabaci* une vitesse de déplacement de l'ordre de 0,2 m par seconde.

2.3. Déplacement des aleurodes à l'intérieur de la couche limite. Vu les vitesses de vent en surface la majeure partie de la journée (fig.2) et par analogie avec les autres insectes étudiés (Taylor, 1974), la couche limite doit se situer à quelques centimètres seulement au dessus du sol. Cependant à certaines heures de la journée et notamment dans la tranche horaire 6/9 h -pendant laquelle l'activité des aleurodes semble être la plus intense (fig.2), les vitesses de vent sont faibles et de l'ordre de 0,1-0,4 m/s. Il n'est pas exclu que les aleurodes soient capables, durant cette période, de contrôler leur vol sur une hauteur beaucoup plus importante. Les strates les plus basses semblent jouer un rôle déterminant dans la dispersion du vecteur, la grande majorité des *Bemisia tabaci* circulant à la surface du sol (Byrne, 1986) à des altitudes où ils sont capables de déclencher leur atterrissage (30 cm au dessus d'un couvert favorable) (Cohen, 1982).

Les vitesses de vent étant réduites à l'intérieur d'un couvert végétal selon l'I.F., la couche limite est plus profonde qu'au dessus d'une surface rase. L'insecte se déplace activement et indépendamment du vent dominant dont la vitesse, faible, est inférieure à celle de l'insecte ; la distance qu'il peut parcourir ainsi est limitée et ne dépasse pas quelques mètres.

2.4. Déplacement au dessus de la couche limite. Au dessus de la couche limite au contraire, la vitesse du vent est supérieure à celle de l'insecte, l'aleurode, incapable de controler son vol, est transporté par le vent. La direction et la vitesse de son déplacement sont alors similaires à celles du vent. Des distances de l'ordre de plusieurs kilomètres par jour peuvent être ainsi

parcourues.

3. **Déplacement des aleurodes et dispersion de la maladie**

3.1. Répartition des aleurodes à l'intérieur et au dessus du couvert.

La répartition et l'orientation des captures observées dans nos expériences, diffèrent fondamentalement au dessus et en dessous de la canopée (fig.3). On observe une discontinuité nette des captures au niveau de la canopée. Au dessus de la canopée, les densités de populations d'aleurodes décroissent rapidement avec la hauteur. Joyce (1973) note que le densité d'aleurodes dans l'air diminue de façon logarithmique avec la hauteur. Rainey (1976) observe une densité de 1 aleurode pour 200 m^3 à 8 m au dessus du sol et 1 aleurode pour 500 m^3 à 60 m.

Les piégeages montrent qu'au contraire, à l'intérieur du couvert végétal, il n'y a pas de relation directe entre la densité de population et la hauteur. Ces profils de distributions au dessus et en dessous de la canopée ont été observés avec un grand nombre d'espèces d'insectes (Taylor, 1974). La répartition des captures à toutes les hauteurs du couvert indique que, bien que les aleurodes au repos soient situés sur les feuilles les plus jeunes au sommet de la canopée (Fargette, 1985), les mouvements actifs se produisent à toutes les strates de la végétation. Enfin, il est possible que les aleurodes se déplacent préférentiellement très près du sol en raison des vitesses de vent plus faibles qui y prévalent, les captures les plus abondantes ayant été observées à plusieurs reprises au niveau des strates les plus basses.

3.2. Orientation du déplacement des aleurodes à l'intérieur et au dessus du couvert. L'orientation des captures est fondamentalement différente dans et au dessus de la canopée. Au dessus de la canopée à 2,35m de hauteur les captures se font en provenance des directions sud et ouest correspondant à la direction du vent dominant sud-ouest (fig.3). Ce résultat renforce l'idée suivant laquelle le mouvement des aleurodes au dessus de la canopée est généralement passif. Dans la canopée au contraire, les directions des captures sont moins typées et les plus fortes d'entre elles sont observées avec les directions nord et nord-est, c'est à dire dans des directions opposées au sens du vent dominant (fig.3). Cette répartition suggère qu'à l'intérieur de la couche limite, l'aleurode présente une certaine tendance à orienter son vol en sens contraire du vent dominant. Des aptitudes similaires à orienter leur vol en direction opposée à celle du vent ont été observées chez d'autres insectes (Kennedy & Thomas, 1974).

3.3. Répartition de la maladie. La répartition de la maladie dans un champ est rarement complètement aléatoire ou totalement homogène. Elle présente la plupart du temps un certain nombre de caractéristiques en liaison avec la position des sources d'infection, les mouvements de l'insecte vecteur et le site écologique de la parcelle (Thresh, 1976). La distribution de la maladie est alors marquée par des zones où la fréquence de l'infection est élevée et par d'autres où elle est faible, et l'étude doit mettre en évidence les gradients ainsi créés. Les gradients d'infection (ou gradients de maladie) observés peuvent avoir des fondements différents : ils peuvent être dûs aux variations, au travers du champ, de facteurs tels le sol, la végétation ou le microclimat et sont appelés gradients d'environnement (environmental gradients) ou être provoqués par des variations dans l'espace de la quantité d'inoculum et sont nommés

gradients de dispersion (dispersal gradient) (Gregory, 1968 ; Zadoks et Schein, 1979). Ces deux types de gradients sont en relations étroites avec les différents mouvements de l'aleurode exposés ci dessus; un transport passif à distance dans le sens du vent est à l'origine des gradients d'environnement; un déplacement local, actif et indépendant du sens du vent est source des gradients de dispersion.

3.4. Gradients d'environnement. Les gradients d'environnement ont été étudiés en détail avec la Mosaïque africaine du manioc (Fargette, 1985) et l'Enroulement du gombo (N'Guessan, 1986). Ils sont caractérisés par une décroissance régulière de la contamination à partir des bordures exposées au vent (c'est à dire les bordures ouest et sud, le vent dominant étant de direction sud-ouest) (fig.4). Des gradients similaires ont été observés avec d'autres maladies virales transmises par aleurodes (Thresh, 1986). Les gradients sont en relation avec le déplacement passif de l'aleurode. Les aleurodes transportés par le vent s'accumulent préférentiellement sur les premières bordures qu'ils rencontrent, c'est à dire celles situées au vent de la parcelle (le mécanisme d'accumulation en bordure est discuté dans le paragraphe 4). Cette répartition du vecteur se traduit par une contamination plus forte dans la partie "au vent" du champ et les gradients d'environnement apparaissent ainsi. De nombreuses observations basées sur les captures par pièges de différentes natures et par plantes pièges éloignées de toute source d'aleurodes suggèrent que des distances de plusieurs kilomètres peuvent être ainsi franchies. On ignore combien de temps l'aleurode peut être transporté par le vent et résister en particulier à la dessication. Cependant, un transport de quelques heures par un vent moyen d'harmattan ou de mousson suffit pour qu'une distance de plusieurs dizaines kilomètres soit franchie.

3.5. Gradients de dispersion. Les gradients de dispersion sont eux, au contraire, liés à la présence de sources bien définies de plantes malades. Dans le cas de la Mosaïque africaine du manioc, ces gradients sont limités dans l'espace et ne sont jamais observés au delà de quelques mètres de la source. On note aussi que la dispersion de la maladie est plus marquée dans la direction nord-ouest (fig.4). Cette dispersion est vraisemblablement la conséquence des mouvements actifs de l'aleurode à l'intérieur de la couche limite qui se produiraient de façon plus nette contre le vent dominant, mais qui ne dépasseraient pas quelques mètres, quelle que soit leur direction.

4. Répartition des aleurodes et distribution de la maladie en présence d'un obstacle

4.1 Accumulation des aleurodes et répartition de la maladie derrière un brise-vent. Le mécanisme d'accumulation des insectes derrière un brise-vent (naturel ou artificiel) a été étudié en détail (Lewis et Dibley, 1970). Les obstacles entraînent des phénomènes de turbulence et provoquent une réduction de la vitesse du vent en aval du courant d'air (Rosenberg, 1974) qui favorisent l'accumulation des insectes (figs.5a,b,c). Dans nos expériences, nous avons observé une accumulation régulière des aleurodes et de la maladie dans un champ de manioc entouré d'une triple haie de canne à sucre de trois mètres de haut (figs.6a,b). Lewis et Dibley (1970) suggèrent que "l'accumulation des insectes de petite taille (surface < 3 mm^2) est déterminée par la manière dont les particules inertes flottant dans les courants d'air sont influencées par des obstacles sur leur passage. Sous le vent d'un

obstacle ou d'une barrière existe une zone de calme ressemblant à une bulle (fig.5a) et s'étendant, suivant l'angle d'incidence du vent et la perméabilité de la barrière, de 7 à 20 fois la hauteur de l'obstacle. A l'intérieur de cette bulle le vent fluctue dans toutes les directions, mais suit en moyenne un mouvement circulaire perpendiculaire à la barrière autour d'une zone de calme située en son centre. La bulle est limitée en bas par le sol et au dessus par la couche turbulente de cisaillement. Aussi certains insectes approchant la barrière dans le vent incident seront-ils transportés au dessus et au delà de cette zone; d'autres seront diffusés à l'intérieur de cette bulle par la couche turbulente de cisaillement et y seront ventilés par un flux rentrant généré près de son extrémité avale".

4.2. Accumulation des aleurodes et répartition de la maladie en bordure de parcelle. Dans d'autres expériences, nous avons observé des gradients d'environnement dans des parcelles de taille différentes (0.1 ha à 4 ha) et avec des cultures différentes (manioc, gombo) et ce *en l'absence de tout brise-vent*. Il semble que l'obstacle au vent *constitué par la parcelle elle même* soit à l'origine de l'accumulation des insectes et ainsi du gradient de maladie (fig.7a,b). En fait, les phénomènes climatiques et tout particulièrement les modifications des caractéristiques du vent, en bordure de parcelles sont mal connus. Il apparaît néanmoins que des phénomènes de turbulence accompagnés de réductions de la vitesse du vent s'y produisent et soient ainsi à l'origine de l'accumulation préférentielle des aleurodes et donc à celle des gradients de maladie (Kawatani & Meroney, 1970 ; Muller, 1985). L'ampleur de cette accumulation serait fonction de l'importance de l'obstacle et donc de la hauteur de la culture, de son indice foliaire et de la rugosité du couvert (fig.7c).

4.3. Importance de l'obstacle et répartition de la maladie. Une culture de manioc et de gombo ne constituent pas des obstacles d'importance comparables. La première atteint une hauteur de deux à trois métres et présente un indice foliaire élevé. La seconde est plus basse, dépasse rarement 1,5 m de hauteur et a souvent un indice foliaire plus faible. Cette différence architecturale du couvert végétal pourrait expliquer pour une part les différences entre les gradients de contamination pour les deux cultures. Les gradients de contamination peuvent être caractérisés par deux paramètres : le palier de contamination (seuil à partir duquel un minimum de contamination est atteint) et le rapport d'infection maximum/minimum (où l'infection est exprimée en nombre de transmissions afin que soient prises en compte les contaminations multiples). A partir des différentes expériences menées sur la Mosaïque africaine du manioc, on relève que les paliers sont observés de 30 à 60 m sous le vent de la bordure et que le rapport maximum/minimum est de l'ordre de dix (fig.8). Dans le cas de l'Enroulement du gombo, bien que nous ne disposions que d'un seul exemple, le palier de contamination est observé 15-20 m après la bordure et le rapport maximum/minimum est de l'ordre de quatre. Il est possible que l'intensité des gradients soit en relation avec l'importance des obstacles et en particulier de leur hauteur. En effet, les parcelles de manioc, deux fois plus hautes (3 m vs 1,5 m) que celles du gombo provoquent des gradients deux fois plus marqués (10 vs 4) et qui s'expriment sur une distance deux fois plus grande (30 m vs 15 m).

5. **Phénomènes climatiques et dispersion de la maladie.**

5.1. Préambule. A partir des observations effectuées par notre laboratoire et des résultats publiés dans la littérature, il apparaît vraisemblable que les mouvements d'aleurodes permettent non seulement la dispersion des aleurodes sur des distances importantes mais favorisent aussi, au niveau des fronts, leur accumulation. Ce double mécanisme de dispersion et d'accumulation permet une dissémination efficace et favorise la colonisation de nouveaux sites qui pourrait expliquer la prévalence des maladies virales transmises par aleurodes dans les régions intertropicales. L'influence de plusieurs systèmes de circulation a été mise en évidence. Il s'agit :

--- Des vents de mousson et d'harmattan
--- Des brises de terre et de mer
--- Des vents "d'orages".

5.2. Le Front Intertropical (F.I.T). Il existe dans la zone intertropicale une zone de confluence entre deux masses d'air. La première est océanique, de secteur sud-ouest, appelée "mousson" mais n'est autre que l'alizé de l'hémisphère austral dévié vers la droite par la force de Coriolis après franchissement de l'équateur. La deuxième est sèche, d'origine continentale, de secteur nord-est; c'est l'alizé de l'hémisphère boréal appelé "harmattan". Cette zone de confluence est appelée zone de convergence intertropicale et la ligne de rencontre entre les deux alizés est le Front Intertropical (F.I.T.). Ces masses d'air, et par la suite, le F.I.T. lui même se déplacent sous l'effet principal des gradients de pression entre l'anticyclone des açores au nord, l'anticyclone de la Sainte Hélène au sud et les dépressions équatoriales. La dépression thermique saharienne située entre l'anticyclone des Açores et la cellule anticyclonique lybienne joue le rôle moteur principal. Quand elle remonte en latitude, elle crée un appel de mousson qui repousse le F.I.T. vers le nord et inversement quand elle descend vers l'équateur (Eldin, 1970).

Nous avons pu observer de façon nette l'influence du passage du F.I.T. sur la direction du déplacement des aleurodes. Les figures 9a et 9b illustrent les captures d'aleurodes dans des pièges jaunes durant les mois de novembre et décembre 1983 au cours desquels règne un vent de mousson de direction sud-ouest. Les captures les plus élevées sont enregistrées dans les parties sud et ouest de la parcelle, ce qui suggère que les aleurodes proviennent du sud-ouest. Au cours du mois de janvier 1984 au contraire, règne un vent d'harmattan de direction nord-est. Les captures les plus fortes sont alors observées dans les parties nord et est. Cette répartition indique que les aleurodes proviennent du nord-est (Fargette, 1985).

Le passage du F. I. T. ne s'accompagne pas uniquement d'une modification de la direction des vents. Il se produit au niveau du front des phénomènes de convergence/divergence qui peuvent expliquer des accumulations soudaines d'insectes. Au Soudan, des accumulations d'aleurodes ont été enregistrées au moment du passage du F.I.T. (Joyce, 1983). En Côte d'Ivoire nous n'avons pas mis en évidence de relations directes entre les fluctuations des populations et le passage du F. I. T. Cependant, les périodes de janvier/février correspondant au passage du F.I.T. à Adiopodoumé correspondent à une instabilité inhabituelle du niveau des populations (Fargette *et al.*, 1986).

5.3. Mécanisme d'accumulation. Pedgley (1982) propose un mécanisme d'accumulation des insectes au niveau des fronts qui peut s'appliquer non seulement au F.I.T., mais aussi à d'autres types de front comme ceux que l'on observe au niveau des brises de terre/mer et des orages. Les insectes sont transportés de part et d'autre du front, par un vent humide et relativement frais de direction sud-ouest d'une part, et par un vent sec et chaud de direction nord-est. Ces flux d'insectes convergent au niveau du front puis ont tendance à être entrainés par les courants ascendants divergents. *Si l'on admet* que les insectes orientent alors leur vol vers les couches basses, afin de se maintenir dans la zone de convergence en raison des conditions particulières qui y règnent (poche de calme, humidité et température favorable...) ou afin d'éviter une zone défavorable (température élevée, mouvement turbulent...), il se produira alors une accumulation d'insectes au niveau du front (fig.10). Ce mécanisme proposé par Pedgley (1982) est présenté comme un *mécanisme possible* et n'a pas rang de certitude. On ignore en particulier quelle est la force d'entrainement de ces mouvements de divergence au niveau du front et dans quelle mesure les aleurodes sont capable de s'y opposer. Joyce (1973) y voit cependant un des phénomènes essentiel expliquant la dispersion et les fluctuations des populations d'aleurodes.

5.4. Brises de mer/terre, orages. Ce mécanisme d'accumulation peut s'appliquer à d'autres types de front comme ceux que l'on observe au niveau des brises de mer/terre (Atkinson, 1981) et des fronts d'orages. Dans nos expériences, il n'est pas exclu que la présence de fortes populations d'aleurodes observées dans des parcelles de manioc en bordure de mer soit en relation avec le front de la brise de terre (Fauquet et Fargette, résultats non publiés). Signalons que de telles arrivées d'insecte avec ces fronts ont été observées au radar (Pedgley, 1982). La taille des aleurodes est cependant insuffisante pour générer des échos décelables au radar. Il n'est pas exclu non plus que la faible augmentation de contamination observée sur les bordures nord et est de certaines parcelles de manioc soit en relation respectivement avec les brises de terre de secteur nord et les orages de secteur est qui règnent dans la zone.

Enfin, rappelons que les orages s'accompagnent de l'émission de masses d'air fraiches et humides qui s'éloignent du centre de l'orage qui cré ent un front avec les masses d'air environnantes plus sèches. L'accumulation de plusieurs types d'insectes au niveau de ce type de front a été observée (Pedgley, 1982). Joyce (1983) observe aussi des accumulations importantes de *Bemisia tabaci* après le passage d'orages.

6. Conclusion

La dissémination des aleurodes et la diffusion concomitante des maladies qu'ils transmettent est sous la dépendance étroite des caractéristiques du vent au niveau de la plante, de la parcelle et de la région. Nous avons rapproché les résultats acquis en ce qui concerne le vecteur et la maladie de phénomènes climatiques connus: des hypothèses ont été émises, des relations suggérées, des mécanismes proposés. Tel était le premier objectif de la collaboration entreprise entre bioclimatologistes, virologues et entomologistes du centre ORSTOM d'Adiopodoumé de Côte d'Ivoire. Cette collaboration se poursuit actuellement dans le cadre des trois programmes mobilisateurs "Epidémiologie de la Mosaïque africaine du manioc", "Les maladies virales transmises par

aleurodes en Afrique de l'Ouest" et "Biologie de *Bemisia tabaci*, vecteur de maladies virales". Des expérimentations ont été conçues afin de tester les hypothèses émises, de préciser les relations suggérées et de détailler les mécanismes proposés.

7. Bibliographie

ATKINSON, B.W. 1981. Sea/land breeze circulation. In : *Meso-scale Atmospheric Circulations*. Academic Press. pp 125-214.

BYRNE, D.N. 1986. Comparison of the flying strategies of aleyrodids and aphids. *Proc. of the third workshop on epidemiology of plant virus diseases*. Orlando, Florida, 6-8/1986. VII 31-34.

COHEN, S. 1982. Control of whitefly vectors of viruses by color mulches, p 45-56. In *Pathogens, Vectors and Plant Diseases*. Eds K.F. Maramorosch & K.F. Harris. Academic Press.

COLVILLE, W.L. 1968. Influence of plant spacing and plant population on aspects of the microclimate within ecosystems. *Agron. J.* 60, 65-67.

ELDIN, M. 1971. Le climat p 76-108. In *Le milieu naturel en Côte d'Ivoire*. Mémoire ORSTOM N°50.

FARGETTE, D. 1985. Epidémiologie de la Mosaïque africaine du manioc en Côte d'Ivoire. Thèse. Université du Languedoc. Montpellier. 201 p.

FARGETTE, D., FAUQUET, C., NOIROT, M., RAFAILLAC, J-P. & THOUVENEL, J-C. 1986. Temporal pattern of African cassava mosaic virus spread. *Proc. of the third workshop on epidemiology of plant virus diseases*. Orlando, Florida, 6-8/1986. VII 25-27.

GREGORY, P.H. 1968. Interpreting plant dispersal gradients. *Annu. Rev. Phytopath.*, 6, 189-212.

JOYCE, R.J.V. 1973. Insect mobility and the philosophy of crop protection with reference to the Sudan Gezira. *Pans*, 19, 62-70.

JOYCE, R.J.V. 1983. Aerial transport of pests and pest outbreaks. *EPPO Bull.* 13(2), 111-119.

KAWATANY, T. & MERONEY, R.N. 1970. Turbulence and wind speed characteristics within a model canopy flow field. *Agric. Meteorol.* 7, 143-158.

KENNEDY, J.S.& THOMAS, A.G. 1974. Behaviour of some low-flying aphids in wind. *Ann. appl. Biol.*, 76, 143-159.

LEWIS, T. & DIBLEY, A. 1970. Air movement near windbreaks and a hypothesis on the mechanism of the accumulation of airborne insects. *Ann. appl. Biol.*, 66, 477-484.

LEWIS, T.& TAYLOR, L.R. 1967. *Introduction to Experimental Ecology*. Academic Press. London.

MULLER, R.M. 1986. The potential for the atmospheric transport of moths from the perspective of synoptic climatology. p 179-202. In *the Movement and dispersal of agricultural important biotic agents*. Eds. MacKenzie, D.R., Barfield, C.S., Kennedy, G.G., Berger, R.D. & Taranto, D.J.

N'GUESSAN, P. 1986. Epidémiologie et mécanismes de résistance de l'Enroulement du gombo. *Rapport de stage de D.A.A.* 19 p.

PEDGLEY, D. 1982. *Windborne pests and diseases. Meteorology of Airborne Organisms*. Wiley Intersciences. 250 p.

PERRIER, E.R. MILLINGTON, R.J., PETERS, D.B. & LUXMOORE, R.J. 1970. Wind structure above and within a soybean canopy. *Agron. J.* 62, 615-618.

RAYNEY, R.G. 1976. Fligth behaviour and features of the atmospheric environment. In *Insect Flight*. Ed. Rayney, Royal Entomological Society Symposium n°7. Blackwell Scientific Publications, Oxford : 75-112.

ROSENBERG, N.J. 1974. Windbreaks and shelter effect in: *Microclimate: The Biological Environment*. John Wiley & Sons, Inc. pp 238-264.

TAYLOR,R. 1960. The distribution of insects at low levels in the air. *J. anim. Ecol.*, 43, 225-238.

TAYLOR, R. 1974. Insect migration, flight periodicity and the boundary layer. *J. anim. Ecol.*, 29 45-63.

THRESH, J.M. 1976. Gradients of plant virus diseases. *Ann. appl. Biol.*, 82, 381-406.
THRESH, J.M. 1986.Plant virus dispersal. p 51-106. In *the Movement and dispersal of agricultural important biotic agents*. Eds. MacKenzie, D.R., Barfield, C.S., Kennedy, G.G., Berger, R.D. & Taranto, D.J.
WRIGTH, J.L. & LEMON, E.R. 1966. Photosynthesis under field conditions. VII. Analysis of a wind speed fluctuation data to evaluate turbulent exchange within a corn crop. *Agron. J. 58*, 255-261.
ZADOKS, J.C. & SCHEIN, R.D. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford. University Press, 427 p.

8. Légendes

Fig.1. Profil théorique de vent au dessus d'un sol nu (gauche), à l'intérieur et au dessus d'un couvert végétal (droite, courbe 1). Le profil de vent est fonction de l'indice foliaire du couvert et de l'intensité du vent (2: vent faible; 3: indice foliaire élevé). La couche limite est la couche à l'intérieur de laquelle la vitesse de vol de l'insecte est supérieure à celle du vent. La profondeur de cette couche (C1, C2, C3) est dictée par le profil de vent.

Fig.2. Vitesse et direction d'un vent "type" de mousson et d'harmattan au cours de la journée (histogrammes du haut). L'activité des aleurodes au cours de la journée, estimée à partir de l'intensité des captures par pièges jaunes, est donnée dans l'histogramme du bas.

Fig.3. Caractéristiques du déplacement des aleurodes à l'intérieur et au dessus de la canopée (gauche); répartition des aleurodes en fonction de la hauteur à l'intérieur et au dessus de la canopée (histogramme central). Direction et déplacement des aleurodes à 0,25 m et à 2,35 m au dessus du sol (histogramme de droite).

Fig.4. Gradient d'environnement de MAM créé par des sources extérieures à la parcelle et lié au mouvement passif des aleurodes (courbe du haut); gradients de diffusion de MAM à partir d'une source intérieure à la parcelle (50 pieds) et liès aux déplacements actifs des aleurodes (courbes du bas).

Figs.5 a,b,c. Effet d'un brise-vent sur la direction du vent (a), sur la vitesse du vent (b) et sur la répartition du vecteur et de la maladie (c).

Figs.6 a,b. Répartition de *Bemisia tabaci* (a) et de la Mosaïque africaine du manioc (b) dans une parcelle de manioc entourée d'une triple haie de canne à sucre de 3 m de hauteur. Le vent dominant est de direction sud-ouest.

Figs.7 a,b,c. Proposition d'un modèle d'action d'un couvert végétal sur la direction (a), la vitesse (b) et la répartition du vecteur et de la maladie (c); G1 couvert dense et haut, vitesse de vent élevée ; G2 : couvert espacé et bas, vitesse de vent faible.

Fig.8. Gradients de contamination observés le long de l'axe sud-ouest/nord-est correspondant à la direction du vent dominant dans des parcelles de manioc et de gombo.

Figs.9 a,b. Influence possible du passage du Front Intertropical sur la répartition des aleurodes au sein d'une parcelle de manioc. Captures du mois de décembre 1983 au cours duquel régna un vent de mousson de direction sud-ouest (a); captures du mois de janvier 1984 au cours duquel régna un vent d'harmattan de direction nord-est (b).

Fig.10. Mécanisme possible d'accumulation des insectes au niveau d'un front.

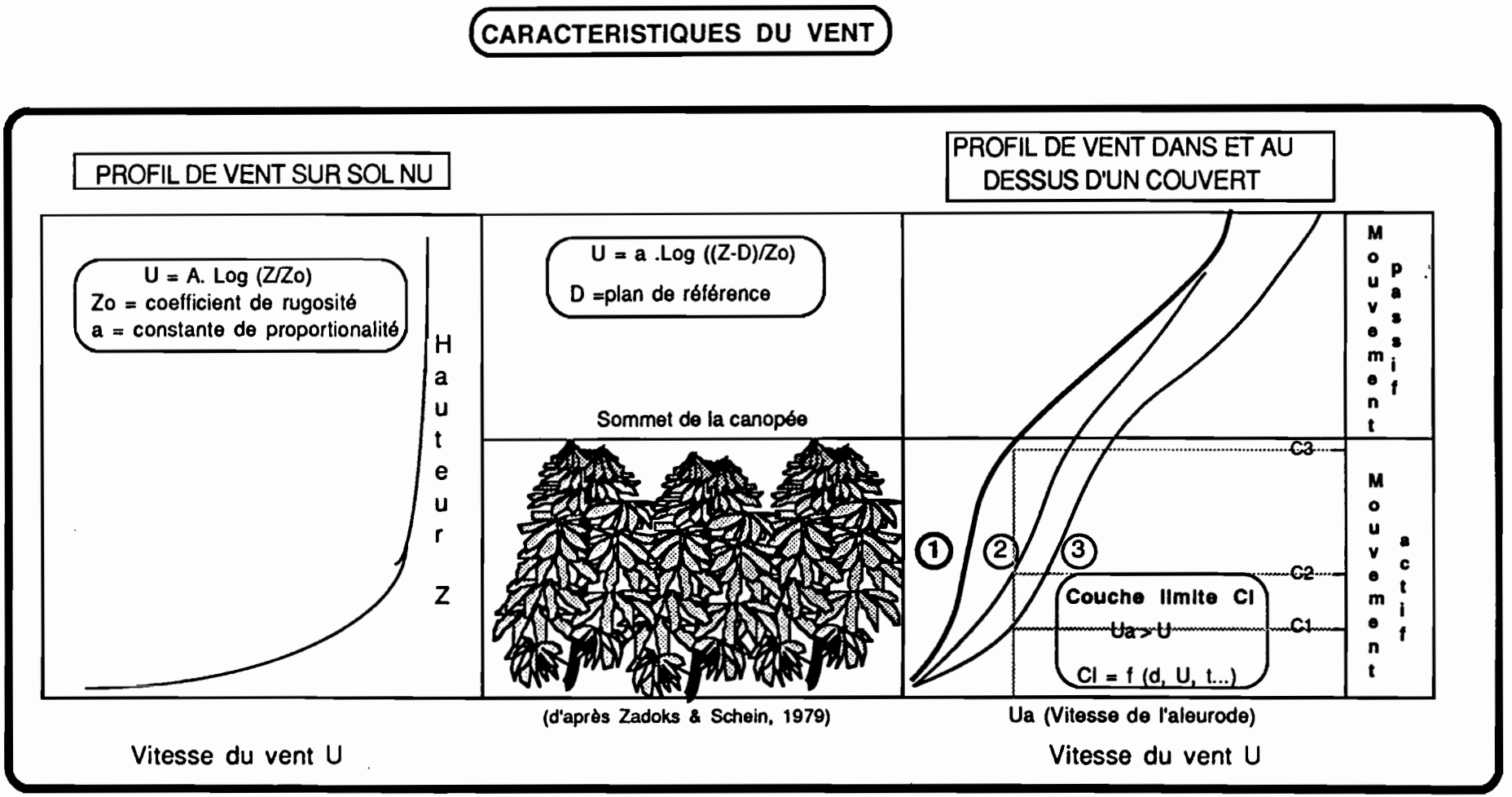
CARACTERISTIQUES DU VENT
PROFIL DE VENT SUR SOL NU
U = A. Log (Z/Zo)
Zo = coefficient de rugosité
a = constante de proportionalité
Hauteur Z
Vitesse du vent U
U = a .Log ((Z-D)/Zo)
D =plan de référence
Sommet de la canopée
(d'après Zadoks & Schein, 1979)
PROFIL DE VENT DANS ET AU DESSUS D'UN COUVERT
Mouvement passif
Mouvement actif
C3
C2
C1
1
2
3
Couche limite Cl
Ua > U
Cl = f (d, U, t...)
Ua (Vitesse de l'aleurode)
Vitesse du vent U

Figure. 1

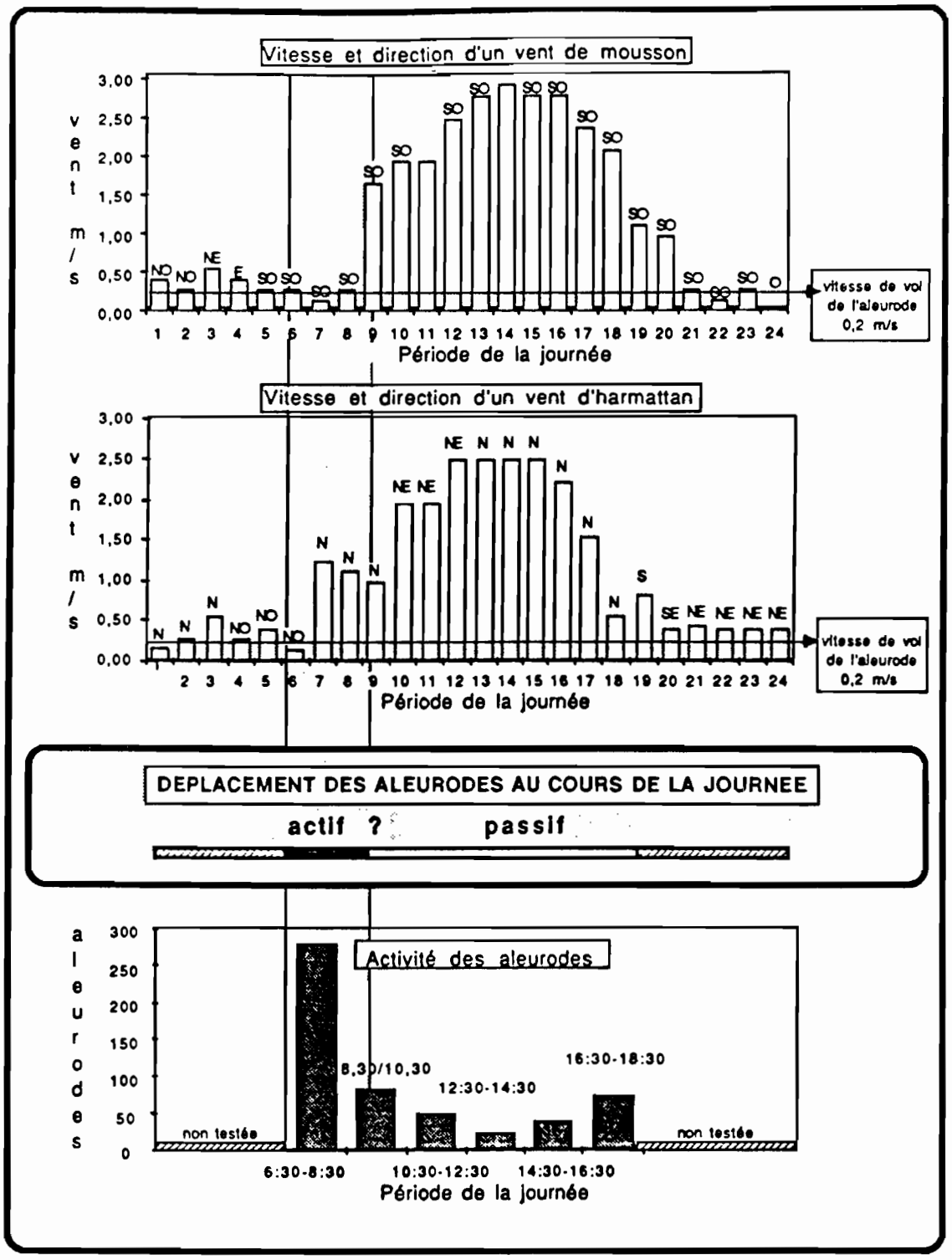
Vitesse et direction d'un vent de mousson
vent m/s
Période de la journée
vitesse de vol de l'aleurode 0,2 m/s
Vitesse et direction d'un vent d'harmattan
vent m/s
Période de la journée
vitesse de vol de l'aleurode 0,2 m/s
DEPLACEMENT DES ALEURODES AU COURS DE LA JOURNEE
actif ?
passif
Activité des aleurodes
aleurodes
non testée
8,30/10,30
12:30-14:30
16:30-18:30
non testée
6:30-8:30
10:30-12:30
14:30-16:30
Période de la journée

Figure. 2

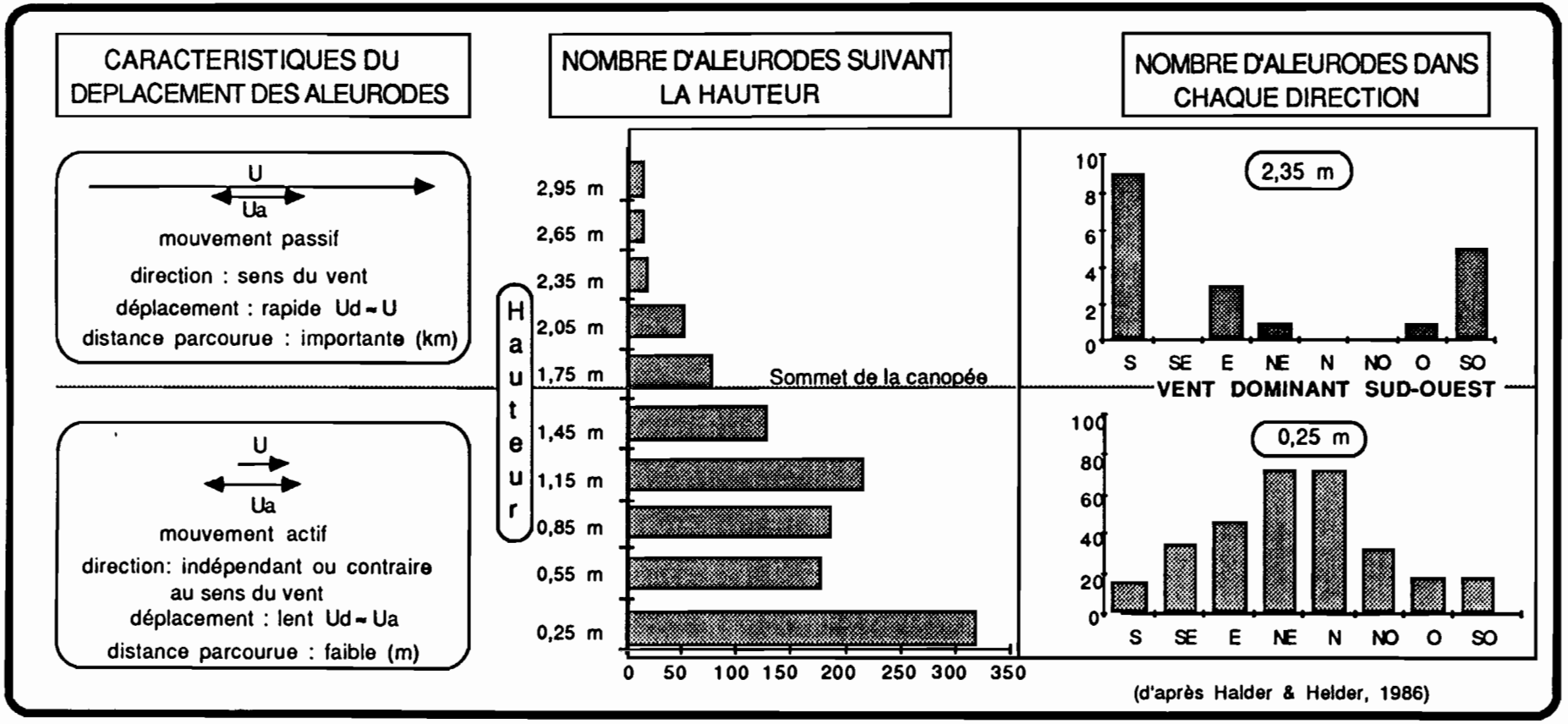
CARACTERISTIQUES DU VOL DE L'ALEURODE
CARACTERISTIQUES DU DEPLACEMENT DES ALEURODES
U
Ua
mouvement passif
direction : sens du vent
déplacement : rapide Ud ≈ U
distance parcourue : importante (km)
U
Ua
mouvement actif
direction: indépendant ou contraire au sens du vent
déplacement : lent Ud ≈ Ua
distance parcourue : faible (m)
NOMBRE D'ALEURODES SUIVANT LA HAUTEUR
Hauteur
2,95 m
2,65 m
2,35 m
2,05 m
1,75 m
1,45 m
1,15 m
0,85 m
0,55 m
0,25 m
Sommet de la canopée
0 50 100 150 200 250 300 350
NOMBRE D'ALEURODES DANS CHAQUE DIRECTION
2,35 m
0 2 4 6 8 10
S SE E NE N NO O SO
VENT DOMINANT SUD-OUEST
0,25 m
0 20 40 60 80 100
S SE E NE N NO O SO
(d'après Halder & Helder, 1986)

Figure. 3

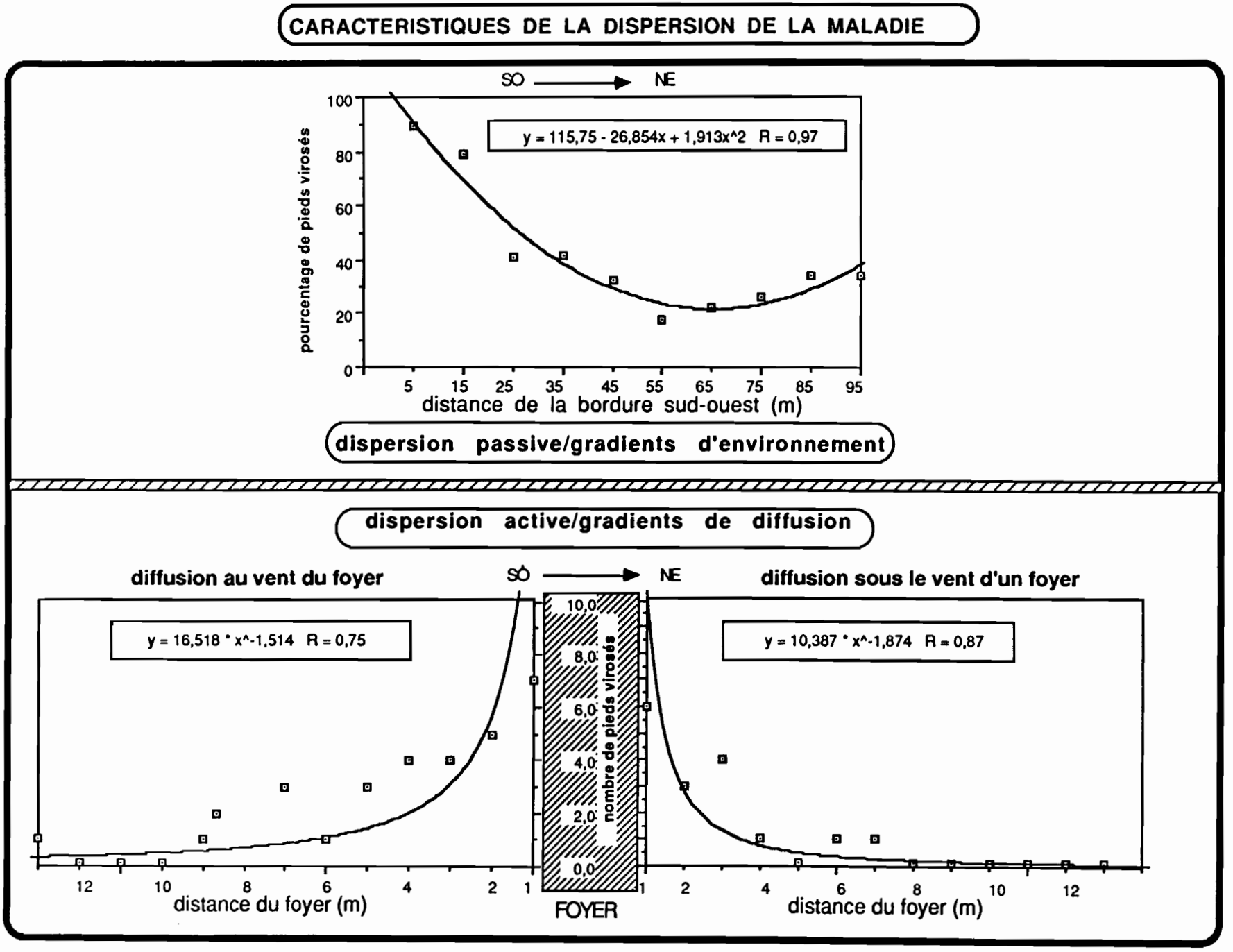
CARACTERISTIQUES DE LA DISPERSION DE LA MALADIE
SO
NE
y = 115,75 - 26,854x + 1,913x^2 R = 0,97
pourcentage de pieds virosés
distance de la bordure sud-ouest (m)
dispersion passive/gradients d'environnement
dispersion active/gradients de diffusion
diffusion au vent du foyer
SO
NE
diffusion sous le vent d'un foyer
y = 16,518 * x^-1,514 R = 0,75
y = 10,387 * x^-1,874 R = 0,87
nombre de pieds virosés
distance du foyer (m)
FOYER
distance du foyer (m)

Figure. 4

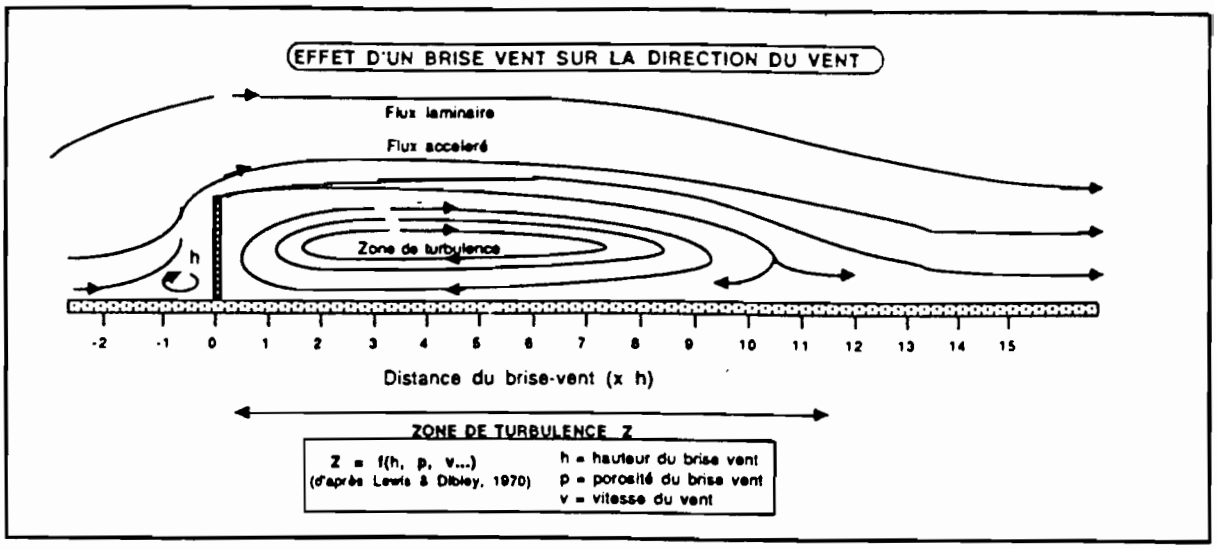

Figure. 5 a

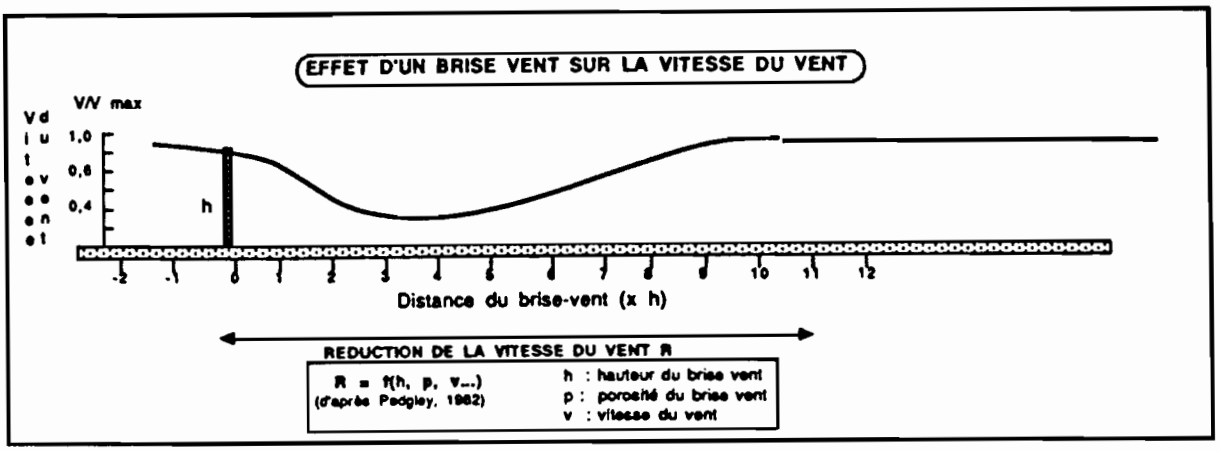

Figure. 5 b

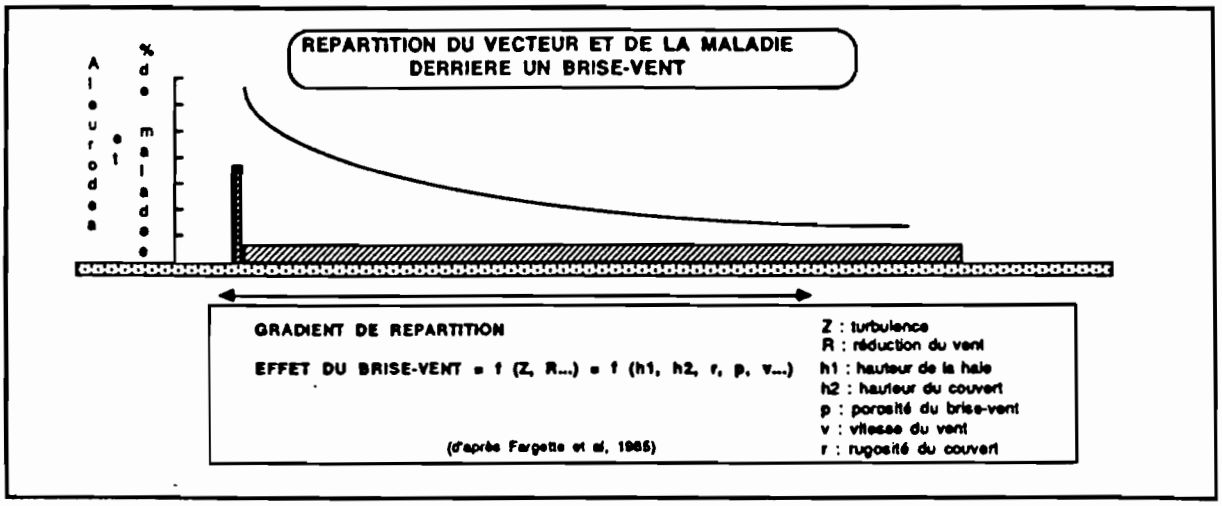

Figure. 5 c

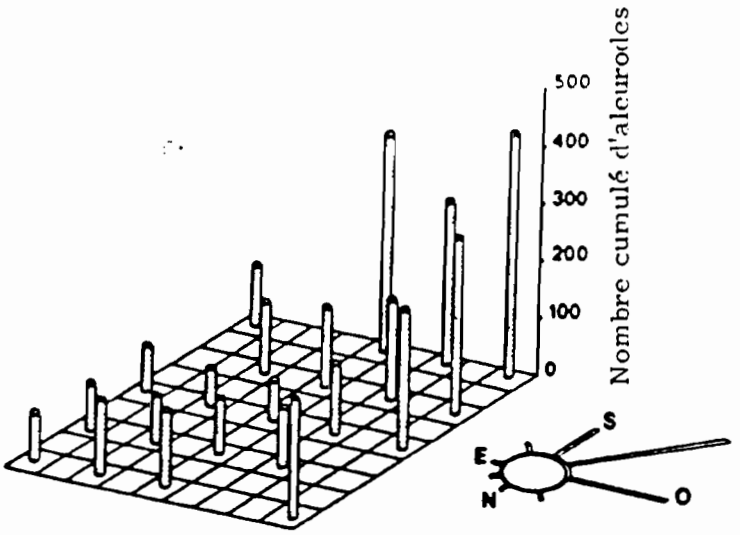

Figure. 6 a. -Répartition de Bemisia tabaci dans une parcelle de manioc entourée d'une triple haie de canne à sucre de 3 m de hauteur.

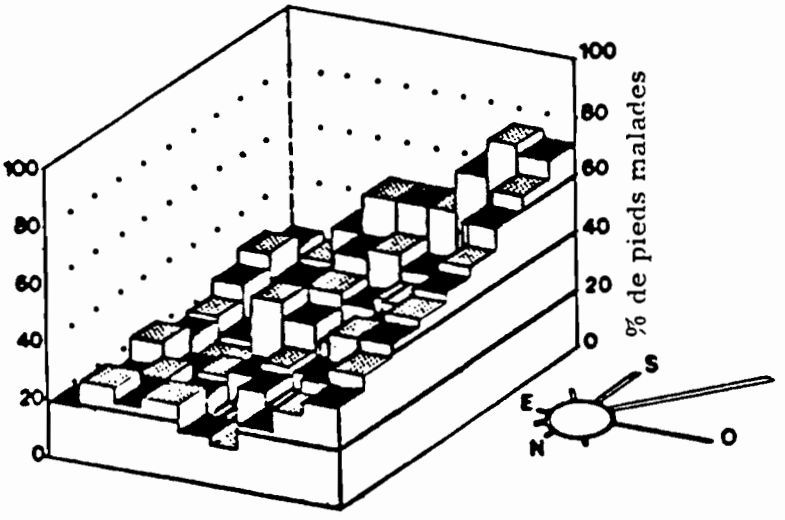

Figure. 6 b. -Répartition de la Mosaïque africaine du manioc dans une parcelle entourée d'une triple haie de canne à sucre de 3 m de hauteur.

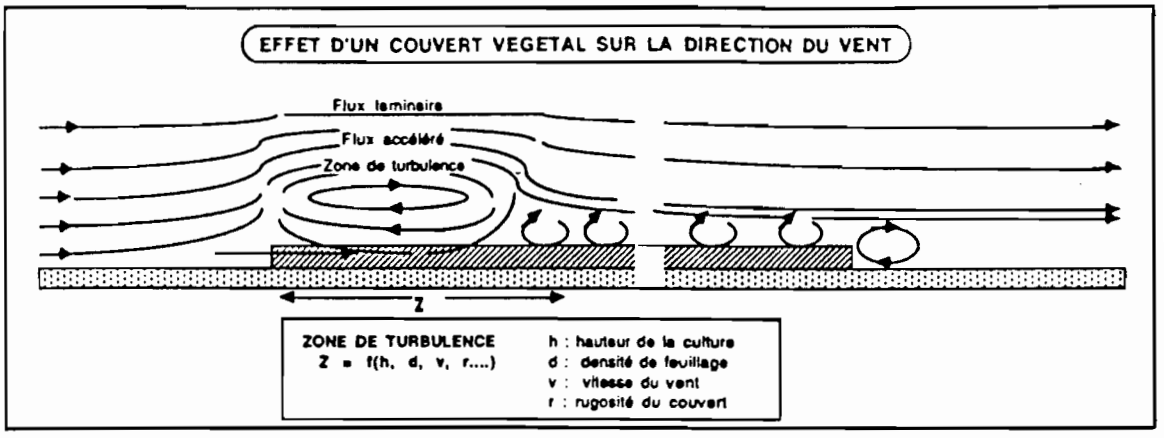

Figure. 7 a

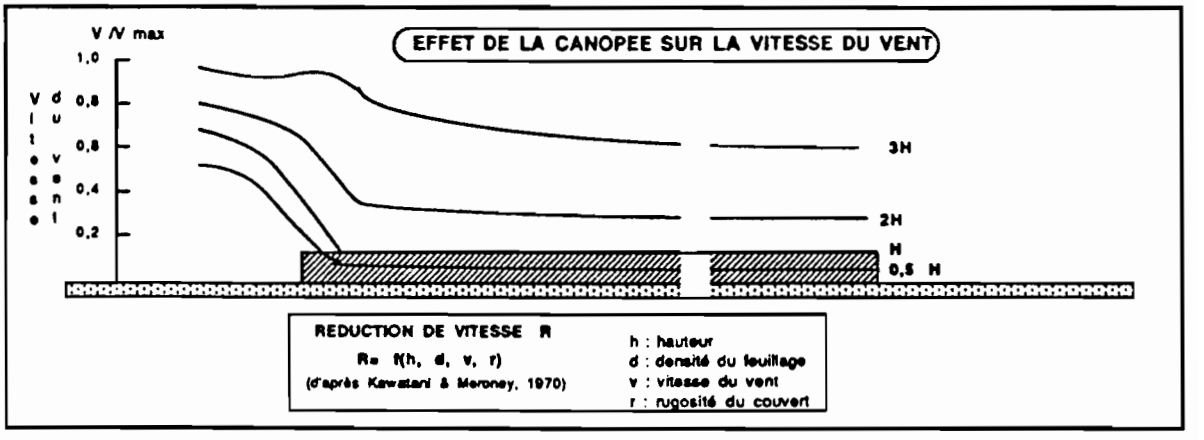

Figure. 7 b

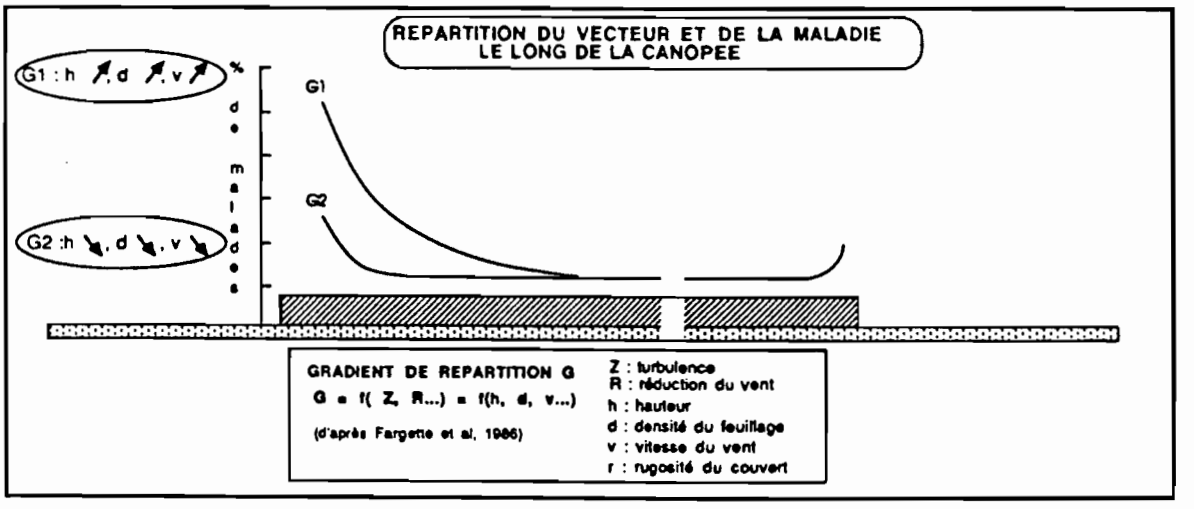

Figure. 7 c

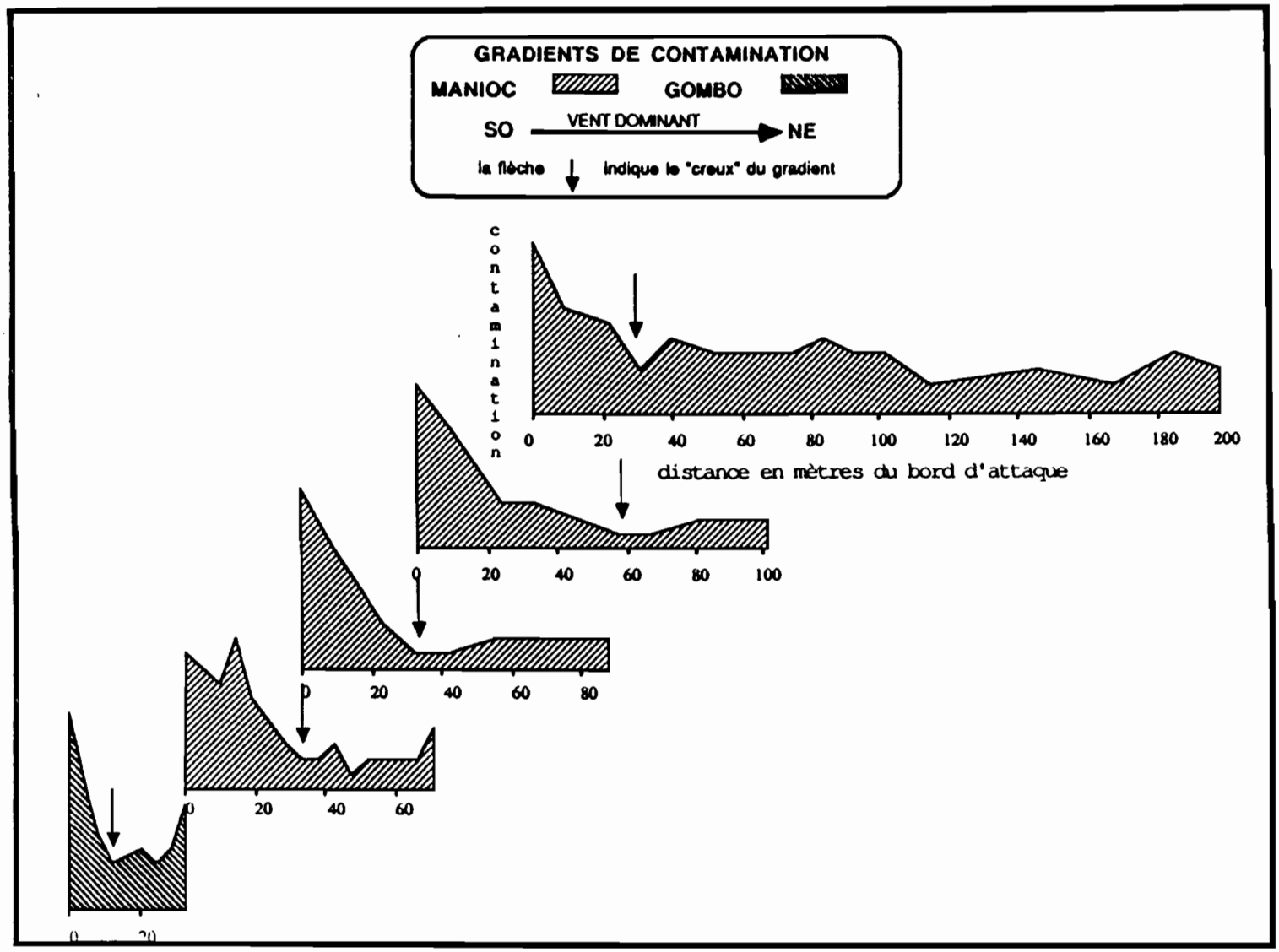
GRADIENTS DE CONTAMINATION
MANIOC
GOMBO
SO
VENT DOMINANT
NE
la flèche
indique le "creux" du gradient
contamination
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
distance en mètres du bord d'attaque
0 20 40 60 80 100
0 20 40 60 80
0 20 40 60
0 20

Figure. 8

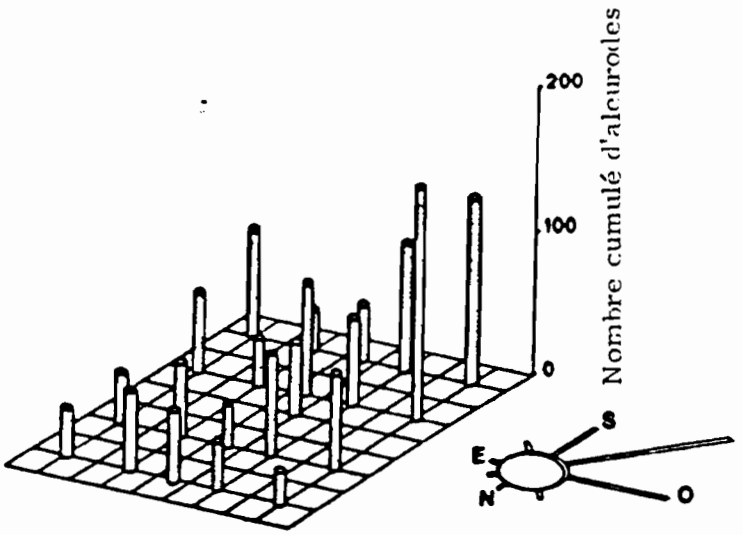

Figure. 9 a. -Influence possible du passage du Front Intertropical sur la répartition des aleurodes au sein d'une parcelle de manioc (mousson).

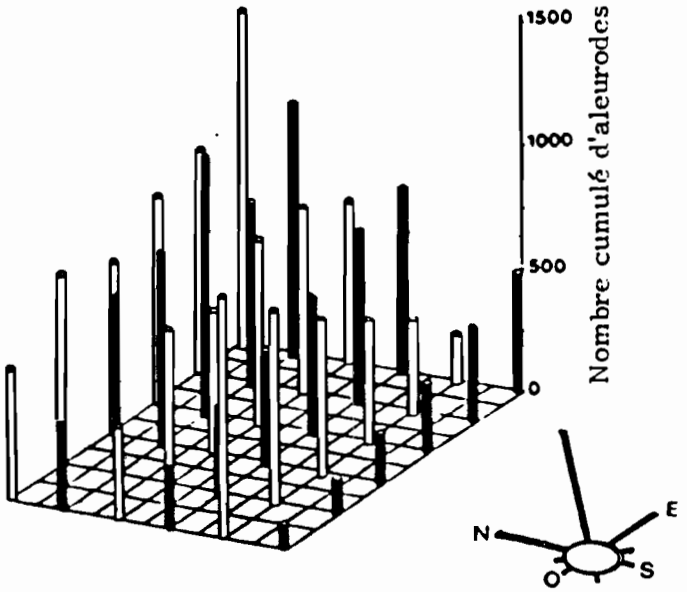

Figure. 9 b. -Influence possible du passage du Front Intertropical sur la répartition des aleurodes au sein d'une parcelle de manioc (harmattan).

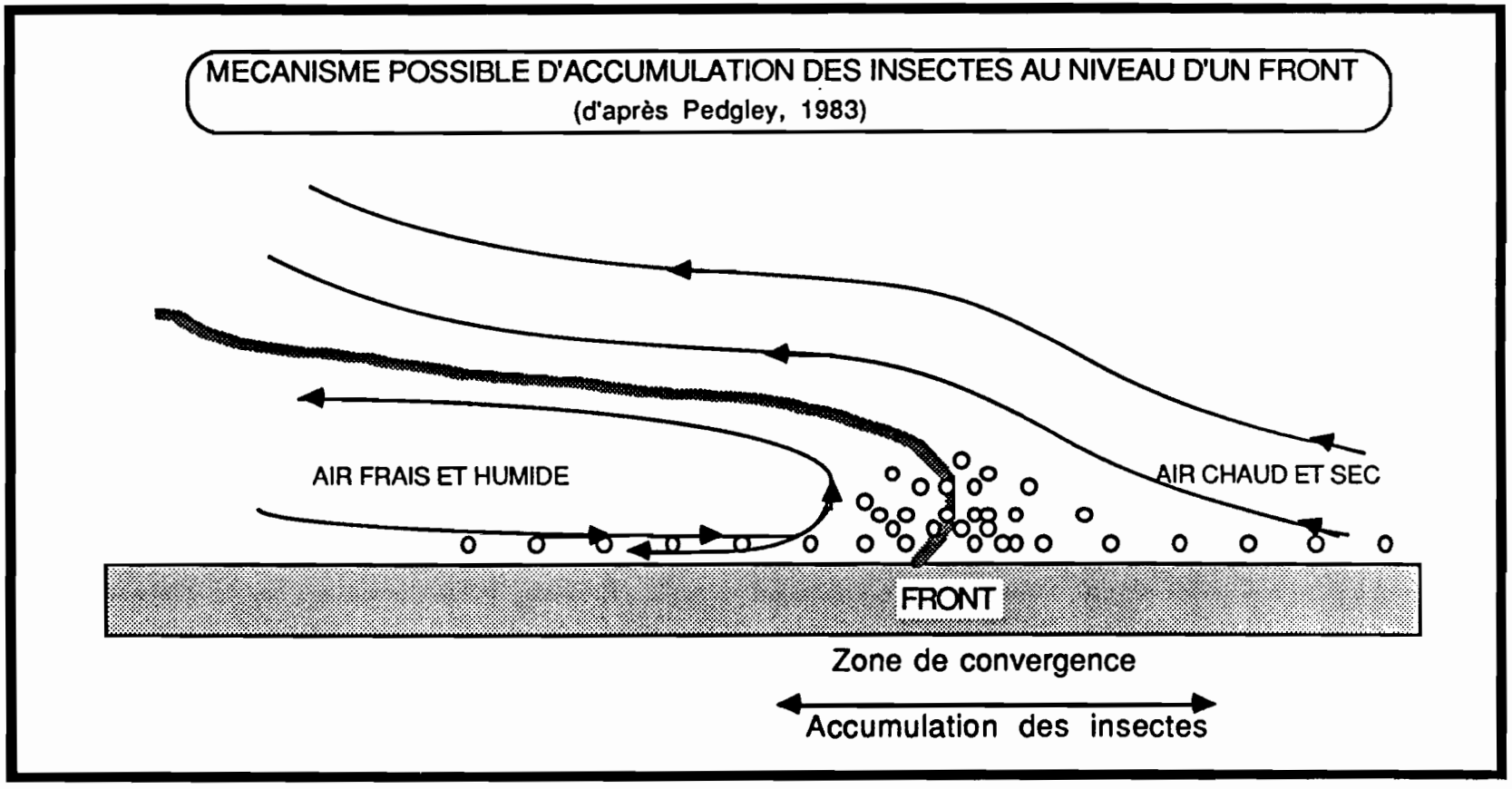
MECANISME POSSIBLE D'ACCUMULATION DES INSECTES AU NIVEAU D'UN FRONT
(d'après Pedgley, 1983)
AIR FRAIS ET HUMIDE
AIR CHAUD ET SEC
FRONT
Zone de convergence
Accumulation des insectes

Figure. 10