

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

ORSTOM

B.P.V.51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

Laboratoire de Phytovirologie

MEMOIRE DE SIX MOIS DE STAGE DE

M. Van Helden & I. Van Halder

Mouvements et comportement de *Bemisia tabaci* (Gennadius)
vecteur de la Mosaïque Africaine du Manioc

Sous la direction de
C. FAUQUET

Phytovirologue ORSTOM
Coordonnateur du Programme
sur l'Epidémiologie de la Mosaïque Africaine du Manioc

AVANT-PROPOS

Ce rapport est le résultat d'un stage de six mois au laboratoire de Phytovirologie de l'ORSTOM à Adiopodoumé, Côte d'Ivoire et fait partie de nos études à l'Université Agronomique de Wageningen, Pays-Bas.

Nous voudrions remercier M. Claude FAUQUET, notre Maître de stage, qui nous a donné son aide et enthousiasme pour cette recherche.

Nous voudrions également remercier MM. Jean-Claude THOUVENEL, Denis FARGETTE, François LEYLAVERGNE, Jean PETITPREZ pour leur aide et conseils et le personnel du laboratoire, spécialement Mathurin et Yapi pour leurs comptages dans le champ.

RESUME

La mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gennadius) est le vecteur de la Mosaïque Africaine du Manioc. Dans cet essai les mouvements de *B. tabaci* sont étudiés. Afin de pouvoir examiner les mouvements de cet insecte, des comptages des adultes et des larves sont effectués sur les plantes et des pièges à glu attractifs (jaunes), non-attractifs (transparents) ainsi que des pièges à aspiration sont utilisés.

Les pièges sont placés dans et en dehors du champ à des hauteurs variables.

Pendant l'essai la population a augmenté jusqu'à 130 mouches par plante, après quoi elle est tombée jusqu'à 20 mouches par plante, en deux semaines. Cette chute de population probablement causée par l'émigration des adultes, peut-être provoquée par un changement de l'état physiologique des plantes ou des insectes. La population des larves a presque suivi la même dynamique.

La plupart des mouches fut attrapée dans le champ. Au-dessus du champ la densité était faible. Nous avons trouvé un gradient des mouches avec un maximum en bordure Sud-Ouest du champ, là où le vent dominant arrive. Ce gradient est le résultat de l'arrivée des mouches migratrices avec le vent sur la bordure et des mouvements des mouches dans le champ contre le vent. Grâce au vent faible dans la canopée les mouches peuvent voler contre le vent, au-dessus du champ le vent est trop fort ; seuls les mouvements dans le sens du vent sont possibles. L'existence de la "boundary layer" est clairement illustrée.

ABSTRACT

The whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) is the vector of the African Cassava Mosaic Virus. In this experiment the movements of *B. tabaci* are studied. In order to observe these movements, direct countings of adults and larvae were performed and attractive, yellow sticky traps, non-attractive, transparent sticky traps and suction traps were used. The traps were placed in and around the field at different heights. During the experiment the whitefly population increased up to 130 whiteflies per plant, after which it decreased to 20 within two weeks. This collapse was caused by the emigration of adults, probably based on a change in the physiological state of the plants and/or of the insects. The population of the larvae followed nearly the same course. The majority of the whiteflies was captured in the field. Above the field densities were low. A gradient of whitefly was demonstrated with a maximum on the south-west border of the field, where the prevailing wind arrives. This gradient is the result of the arrival of migrating whiteflies in this border with the wind and the movements of whiteflies in the field against the wind. Because of the low wind speeds in the field the flies can move upwind, above the field only downwind movements are possible. The existence of the boundary layer was clearly demonstrated.

SAMENVATTING

De witte vlieg *Bemisia tabaci* (Gennadius) is de vector van African Cassava Mosaic virus. In dit onderzoek is gekeken naar de bewegingen en de populatie-dynamica van *B. tabaci*. Om deze bewegingen te achterhalen werden directe tellingen van de adulten en larven op de planten verricht en werd er gebruik gemaakt van attractieve, gele plakvallen, niet-attractieve doorzichtige plakvallen en zuigvallen. Deze vallen stonden op verschillende hoogten binnen en buiten het veld opgesteld.

Tijdens de proef bouwde de populatie zich op tot 130 vliegen per plant, waarna ze binnen een periode van twee weken ineens stortte tot 20 vliegen per plant. Deze val in de populatie bleek te berusten op een emigratie van adulten, waarschijnlijk veroorzaakt door een verandering in de fysiologische toestand van de planten. De populatie van de larven vertoonde in de tijd bijna exact hetzelfde verloop als die van de adulten. Het overgrote deel van de vliegen werd in het veld gevangen, erboven bevonden zich steeds weinig vliegen. In het veld werd een gradient van vliegen aangetoond met een maximum aan de zuid-west zijde, waar de overheersende wind vandaan komt. Deze gradient werd veroorzaakt door de aanvoer van nieuwe vliegen met de wind mee en door de bewegingen van de vliegen in het veld, die voornamelijk tegen de wind in gericht zijn. Door de lage windsnelheid in het veld kunnen de vliegen daar tegen de wind in vliegen, boven het veld alleen met de wind mee. Het bestaan van de "boundary layer" kon daardoor duidelijk worden aangetoond.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS

RESUME

1. INTRODUCTION

- 1.1. Le programme**
- 1.2. La maladie**
- 1.3. Le vecteur**
- 1.4. Les modes de transmission**
- 1.5. La dynamique des populations de vecteur**
- 1.6. Les piègeages d'insectes**
- 1.7. Les mouvements des insectes**
- 1.8. L'objectif de l'essai**

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Dispositif expérimental

2.2. Description des pièges

- 2.2.1. Pièges à aspiration
- 2.2.2. Pièges à glu
- 2.2.3. Pièges cylindriques à anneaux jaunes

2.3. Les instruments météorologiques

2.4. Les relevés

- 2.4.1. Croissance du manioc
- 2.4.2. Comptage des mouches
- 2.4.3. Comptage des larves
- 2.4.4. Pièges à aspiration
- 2.4.5. Pièges à glu
- 2.4.6. Pièges cylindriques à anneaux jaunes
- 2.4.7. Contamination

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Croissance du manioc

3.2. Dynamique de populations des adultes de mouches blanches

- 3.2.1. Répartition des mouches sur la plante
- 3.2.2. Dynamique de la population des mouches blanches
- 3.2.3. Répartition des mouches blanches dans le champ

3.3. Dynamique de populations des larves de mouches blanches

- 3.3.1. Répartition des larves sur la plante
- 3.3.2. Dynamique de la population des larves
- 3.3.3. Répartition des larves dans le champ

3.4. Pièges à aspiration

3.5. Piège à glu

- 3.5.1. Répartition verticale des captures
- 3.5.2. Dynamique des captures
- 3.5.3. Répartition des captures dans le champ

3.6. Pièges cylindriques à anneaux jaunes

- 3.6.1. Répartition verticale des captures
- 3.6.2. Dynamique des captures
- 3.6.3. Répartition des captures dans le champ
- 3.6.4. Répartition des captures suivant les directions du vent
- 3.6.5. Activité des mouches pendant la journée

- 3.6.5.1. Activité bi-horaire
- 3.6.5.2. Répartition verticale pendant la journée
- 3.6.5.3. Directions des captures pendant la journée

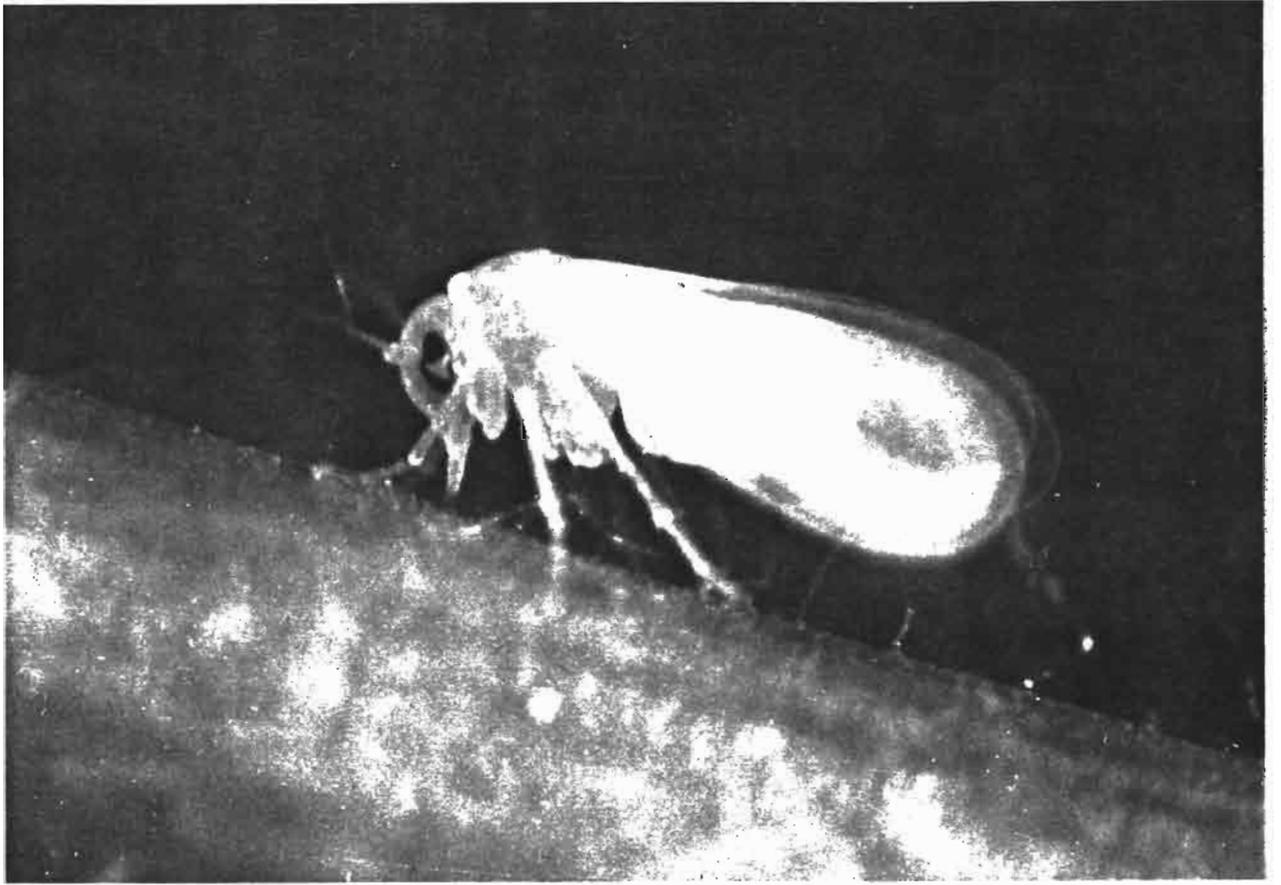
3.7. Contamination du champ

4. CONCLUSION GENERALE

- 4.1. Répartition verticale des mouches blanches
- 4.2. Répartition des mouches blanches dans le champ
- 4.3. Dynamique de la population
- 4.4. L'activité des mouches blanches
- 4.5. Les mouvements divers et leurs directions

5. RECOMMANDATIONS POUR LES RECHERCHES FUTURES

6. REFERENCES



Bemisia tabaci, Gennadius. Adulte sur feuille de manioc

1. INTRODUCTION

1.1. Le programme

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est une des sources de calories les plus importantes dans les régions tropicales. Même sur des sols dégénérés il donne une assez bonne récolte de racines tubérisées, riche en amidon. En Afrique la culture du manioc est diminuée par la Mosaïque Africaine du Manioc. Il s'agit d'une maladie virale qui peut provoquer des pertes de récolte très importantes. C'est pour cette raison qu'en 1980, l'ORSTOM a débuté le programme "Étude de la Mosaïque Africaine du Manioc" à l'ORSTOM Adiopodoumé, Côte d'Ivoire. Un des derniers sujets à étudier dans ce programme concerne une étude plus précise sur le comportement du vecteur de cette maladie virale : *Bemisia tabaci* Gennadius, en relation avec la dispersion de la maladie.

1.2. La maladie

Bien que la maladie elle-même soit connue depuis longtemps (Warburg, 1894), la véritable identité de l'agent pathogène ne fut prouvée que récemment par Bock et Guthrie en 1979. Ces auteurs ont réussi à transmettre un virus au tabac (*Nicotiana benthamiana*) qui après purification fut identifié comme étant un geminivirus.

L'origine du virus n'est pas évidente. Comme la maladie n'est pas connue en Amérique du Sud, lieu d'origine du manioc, l'origine du virus est probablement la flore sauvage de l'Afrique (Raven, 1984). Depuis l'introduction du manioc en Afrique au 16^{ème} siècle, le virus a réussi à infecter presque toutes les cultures de manioc. Cela est en partie dû au fait que les paysans n'ont pas sélectionné les plantes sans mosaïque lors des replantations (propagation végétative). De plus il y a le vecteur naturel de la maladie *B. tabaci* qui a transmis le virus des plantes réservoirs aux plants de manioc sains.

Quand une plante est infectée elle commence à développer des taches jaunes sur les feuilles (mosaïque). Une infection plus grave donne des feuilles déformées, et dans le cas le plus grave les feuilles sont réduites aux nervures principales. Il y a aussi une influence sur le métabolisme de la plante (Chant *et al.*, 1971). A la fin de la culture l'infection peut résulter en une perte de 5 à 95 % de la récolte ce qui dépend du clone utilisé, du moment et du type d'infection, des facteurs climatiques et du type de la culture.

1.3. Le vecteur

Bemisia tabaci est une mouche blanche (famille Aleyrodidæ). Les mouches blanches sont des insectes homoptères avec un développement néométabole. Les femelles pondent leurs oeufs sur la face inférieure des feuilles. Le premier stade larvaire est mobile et peut se déplacer de quelques centimètres. Par contre, les trois autres stades larvaires sont fixes. Le quatrième stade larvaire ne se nourrit plus et sert de puparium dans lequel l'adulte se métamorphose. Cela est reconnaissable par les yeux rouges qui sont très visibles. L'adulte sort du puparium par une ouverture en forme de T. L'exuvie reste sur la feuille. Le développement de l'oeuf à l'adulte prend à peu près deux semaines (Leuschner, 1978) à 26°C. La vie d'un adulte peut durer quelques semaines (Leuschner, 1978).

On trouve l'aleurode *B. tabaci* sur une grande quantité de plantes très diverses (Mound et Halsey, 1978). En raison du fait que la plante peut avoir une influence sur la forme du quatrième stade larvaire, qui est utilisé pour l'identification des mouches blanches, on croyait depuis longtemps être en présence de nombreuses espèces étroitement reliées. Maintenant toutes ces espèces de mouches blanches sont reconnues comme étant *Bemisia tabaci*. Il est cependant possible qu'au cours du temps un grand nombre de biotypes ou de races se soient développées, mais ce fait n'est pas clairement démontré et on ne sait pas si cette adaptation est irréversible.

B. tabaci couvre une aire géographique énorme. On trouve les mouches blanches dans les zones tropicales du monde entier et dans une grande partie des zones tempérées. C'est surtout dans les zones tropicales humides, comme le Sud de la Côte d'Ivoire que l'on peut trouver de grandes quantités de mouches blanches. Ce fait associé à une grande quantité de plantes de manioc virosés peut expliquer les fortes recontaminations de champs sains enregistrées dans cet endroit (Fargette, 1985).

1.4. La transmission

Pour qu'une mouche puisse infecter une plante une période d'acquisition de 3 à 4 heures est nécessaire. Après cette acquisition il y a une période de latence de 4 à 6 heures. A partir de ce moment l'insecte peut inoculer la plante par un repas d'inoculation de 10 à 15 minutes (Dubern, 1979).

Il est possible que la larve de la mouche acquiert le virus. La durée du repas d'acquisition est largement suffisante et pendant la métamorphose le virus n'est pas perdu. La période de rétention du virus est située entre 7 et 9 jours. La transmission par les oeufs n'est pas possible (Dubern, 1979).

1.5. La dynamique des populations

Depuis le début du programme en 1980 on a étudié la dynamique des populations d'aleurodes. On a réussi à montrer l'existence d'une relation entre la population des mouches blanches, les facteurs climatiques et la dynamique de contamination. La taille de la population dépend de la température, de la tension de vapeur d'eau et du rayonnement global, la température étant le facteur le plus important (Fargette, 1985).

L'âge physiologique de la plante et le clone utilisé ont aussi une influence sur la population des mouches. Des clones différents de manioc ont une résistance différente vis-à-vis du vecteur (Colon, 1983). Normalement, lorsque les conditions climatiques ne sont pas trop mauvaises la population d'aleurodes augmente jusqu'au troisième mois après plantation. Après le nombre de mouches diminue (Fargette, 1985).

Les autres facteurs qui peuvent influencer le nombre de mouches dans un champ sont par exemple :

- a) les plantes voisines du champ, qui peuvent être source de mouches, surtout quand il s'agit d'un champ de manioc qui est récolté (Dengel, 1981)
- b) la vitesse de croissance du manioc
- c) les très fortes pluies qui sont capables de noyer les mouches, éventuellement en combinaison avec le vent
- d) l'état nutritif des plantes (Dengel, 1981)
- e) la présence de prédateurs et de parasites.

1.6. Piégeage des insectes

Pour attraper des insectes il existe beaucoup de méthodes très différentes (Emden, 1972). La méthode la plus simple mais qui demande le plus de travail, consiste à aller dans le champ et à attraper les insectes à la main. Il est beaucoup plus facile d'utiliser des pièges. L'utilisation des pièges et l'interprétation des résultats donne pourtant des difficultés.

On peut diviser les pièges d'insectes en deux catégories.

a) Pièges attractifs

Ce sont par exemple des pièges lumineux, colorés et à phéromones. L'insecte est attiré vers le piège par les propriétés du piège comme la couleur ou l'odeur puis l'insecte est attrapé par une surface collante ou bien il est anesthésié, ou noyé.

Le grand avantage de ces types de pièges est qu'ils attrapent de grandes quantités d'insectes. Un désavantage peut être l'influence des facteurs extérieurs comme le vent ou la lumière sur l'efficacité du piège. Il est souvent très difficile de déterminer la zone d'attraction du piège, ce qui fait qu'il est difficile d'interpréter les captures. Avec ce type de piège il est difficilement possible de calculer les densités d'insectes puisqu'ils ont une influence sur le comportement des insectes.

b) Pièges non-attractifs

Les pièges non-attractifs attrapent des insectes grâce à leurs propriétés mécaniques. Ce sont par exemple les pièges à aspiration ou les pièges à glu transparents, qui attrapent les insectes qui passent plus ou moins "au hasard" à travers ce piège. Le grand avantage de ces pièges est qu'ils n'ont aucune influence sur le comportement des insectes.

Le désavantage des pièges non-attractifs est qu'ils ne sont pas du tout spécifiques, qui donnent souvent de grandes quantités d'insectes attrapés, parmi lesquels il n'y a que quelques insectes recherchés.

1.7. Mouvements des insectes

Il existe quatre types de mouvements pour les insectes :

a) L'immigration ; les insectes qui viennent de l'extérieur et qui arrivent dans le champ. Ce sont les fondateurs de la population d'un nouveau champ et dans le cas des vecteurs de maladies virales ce sont les sources de l'infection primaire.

b) La migration : les mouvements des insectes dans un champ. Ces mouvements n'ont pas d'influence sur la taille de la population du champ. Pour un vecteur ce mouvement donne l'infection secondaire.

c) L'émigration : les insectes qui sortent du champ.

d) Les insectes migrateurs qui passent au-dessus du champ.

Le vol même des insectes peut être divisé en trois périodes (Emden, 1972) :

- a) le décollage
- b) le vol
- c) l'atterrissage

i) Le décollage

La décision de l'insecte de décoller est influencée par des facteurs climatiques comme la température, l'humidité, la radiation, la pluie et le vent (Pedgley, 1982). Un vent faible facilite souvent le décollage, un vent fort au contraire oblige les insectes à rester sur les plantes.

ii) Le vol

Dans les zones d'air où la vitesse du vent est inférieure à la vitesse de déplacement propre de l'insecte, celui-ci peut se déplacer de façon autonome. Cette zone est appelée "boundary layer" (Taylor, 1974). Au-dessus de cette zone le vent est si fort que seuls les déplacements dans le sens du vent sont possibles.

L'existence de cette "boundary layer" est un fait indéniable qui fut prouvé par des analyses de profils verticaux de densités d'insectes très divers (24 taxa) (Taylor, 1974).

En moyenne la limite de cette zone se trouve à une hauteur de 30 centimètres au dessus de l'endroit où la vitesse du vent est de 63 cm/s. Pour les petits insectes comme les mouches blanches cette zone sera plus basse. Les mouvements migratoires d'un champ à l'autre sont presque toujours dans la même direction que le vent. Dans le champ même le vent est diminué ce qui peut permettre un déplacement autonome de l'insecte.

iii) L'atterrissage

Les insectes peuvent être attirés vers leurs plantes-hôtes par l'odeur, la couleur ou la forme de la plante. Par ailleurs des phénomènes de turbulence se produisent en bordure de la végétation, la vitesse du vent est rapidement réduite et des zones de calme apparaissent (Pedgley, 1982). Ces modifications de vent permettraient à l'insecte de contrôler son vol et expliqueraient les accumulations des aleurodes sur les bordures face au vent des champs de manioc (Fargette, 1985).

1.8. Objectifs de l'essai

Dans le programme "Etude de la Mosaïque Africaine du Manioc" le Département de Phytovirologie a pour but d'étudier l'épidémiologie de cette maladie. Comme le virus est transmis par la mouche blanche *B. tabaci* il est évident qu'il y a une étroite relation entre la dynamique et les mouvements de cet insecte et la contamination du champ. Jusqu'alors il n'avait pas encore été effectué d'étude plus précise sur le comportement de cet insecte. On pouvait cependant prédire la dynamique de la population de l'insecte et la contamination d'un champ de manioc (Fargette, 1985), mais rien n'était connu sur les mouvements des mouches dans le champ et entre les champs. Dans cet essai nous avons essayé d'enregistrer et d'expliquer les mouvements des insectes et la dynamique de la population des larves et des adultes. Nous envisageons également de montrer les corrélations qui existent entre ces variables et les facteurs climatiques.

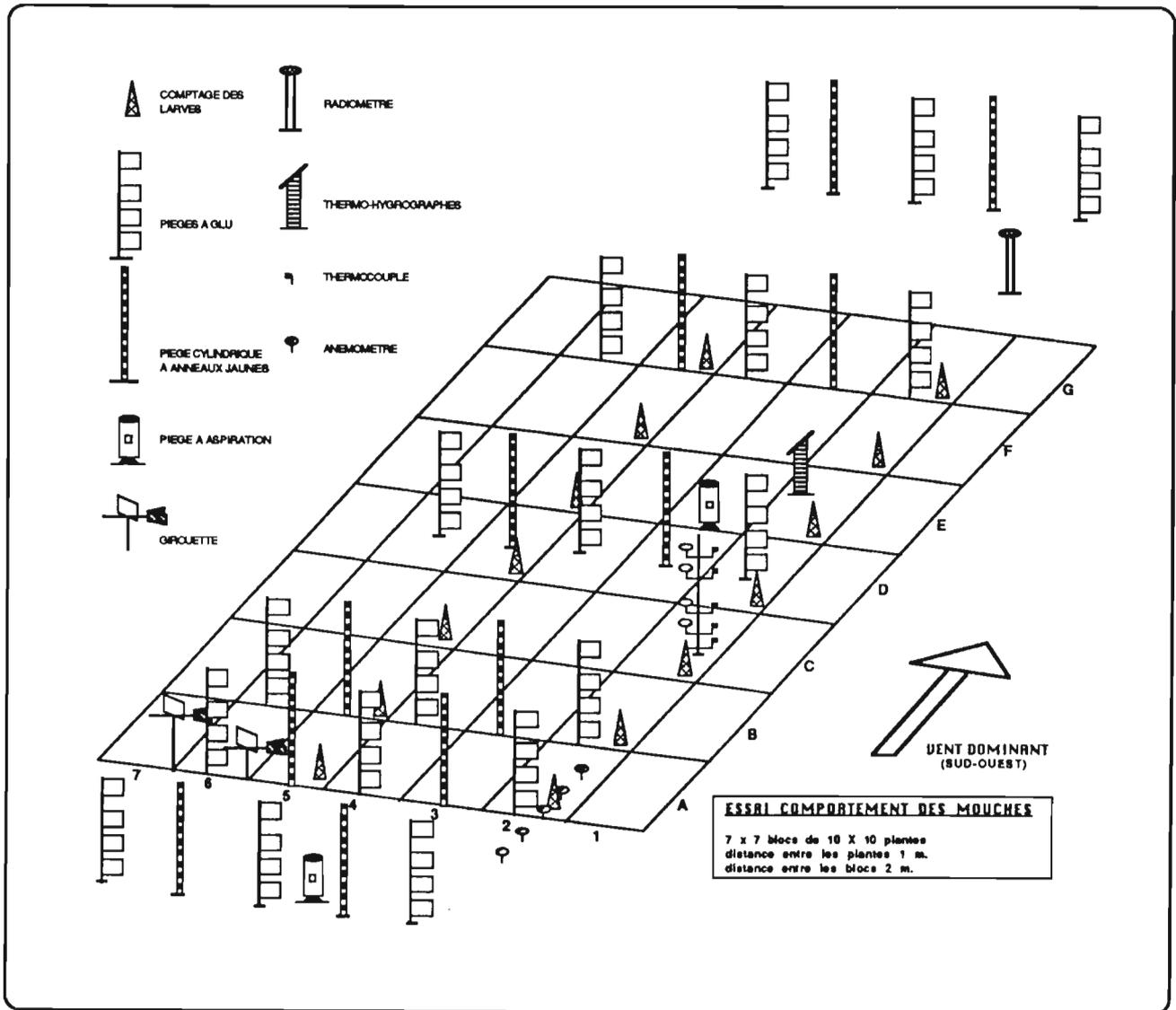


Figure 1. Plan d'expérimentation de l'essai "Comportement des mouches blanches dans un champ de manioc".

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Dispositif expérimental

L'essai est situé sur la Station expérimentale de l'ORSTOM (Adiopodoumé, Côte d'Ivoire). La parcelle est divisée en 7 x 7 blocs, chaque bloc étant constitué de 10 x 10 plantes du clône CB. Les blocs sont orientés dans l'axe [Sud-ouest] - [Nord-est], correspondant à la direction du vent dominant [en fréquence sur l'année (figure1)]. Les boutures saines ont été plantées le 23 novembre 1985. La distance entre les plantes est de un mètre, alors qu'entre les blocs elle est de deux mètres. A proximité de l'essai se trouvent plusieurs champs de manioc virosés, le plus proche étant à environ 100m au vent.

Dans ce champ on a utilisé trois types de pièges à insectes : piège à aspiration, piège à glu et pièges cylindriques à anneaux jaunes. De plus on a compté les adultes et les larves sur les plantes. Afin de pouvoir connaître l'influence des facteurs climatiques sur le comportement des insectes on a utilisé les mesures de la station de Bioclimatologie, située à trois cents mètres du champ. Dans le champ même quelques instruments météorologiques sont placés pour mesurer les valeurs du microclimat du champ.

La figure 1 montre le plan du champ avec l'emplacement de tous les instruments et de tous les pièges.

2.2. Description des pièges

2.2.1. Pièges à aspiration

Les deux pièges à aspiration sont du type Taylor, fabriqué par Burkard en Angleterre. Ils ont une hauteur de 1,50 m et un diamètre de 50 cm (Photo 1). Les insectes sont collectés dans un béccher de 500 ml, rempli d'eau additionné de quelques gouttes d'ammonium quaternaire (Photo 2). Comme les mailles de l'entonnoir standard étaient trop grandes pour les mouches blanches on a mis un deuxième entonnoir de gaze en plastique, aux mailles très fines. A l'aide de cet entonnoir, l'efficacité de ces pièges est montée de 5 à 55 %, ceci étant établi par le lâché d'un nombre connu de mouches blanches. Pour empêcher les grands insectes de tomber dans les pièges on a ajouté une pièce de moustiquaire, avec de grandes mailles, au-dessus de ces pièges.

Un des deux pièges à aspiration était placé au milieu du champ, l'autre 15 mètres avant le champ (Figure 1 et Photo 3).

2.2.2. Pièges à glu

Les pièges sont composés de cadre en bois de 30 x 30 cm ayant une surface de collage de 25 x 25 cm (0,0625 m²) sur lesquels on a mis une feuille de plastique transparente (polyéthylène 0,3 mm) couverte avec de la colle pour insectes (Tanglefoot).

Quatre de ces cadres sont attachés verticalement à un bambou à des hauteurs de 0,50 ; 1,25 ; 2,00 et 3,25 m. du sol (photo 4).

Dans le champ on a mis 18 bambous (c'est à dire 72 cadres) en 3 lignes de 6 bambous, qui sont orientés Sud-ouest / Nord-est. Les bambous A sont placés 15 m avant le champ,

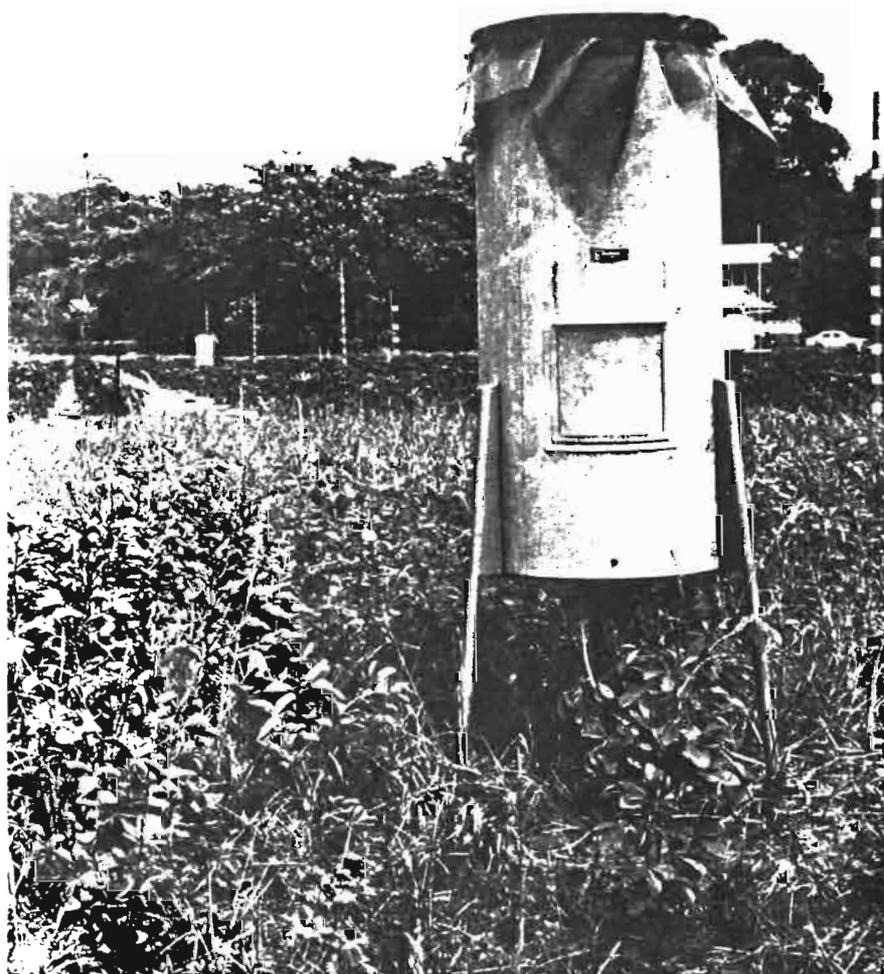


Photo 1. Piège à aspiration du type TAYLOR.

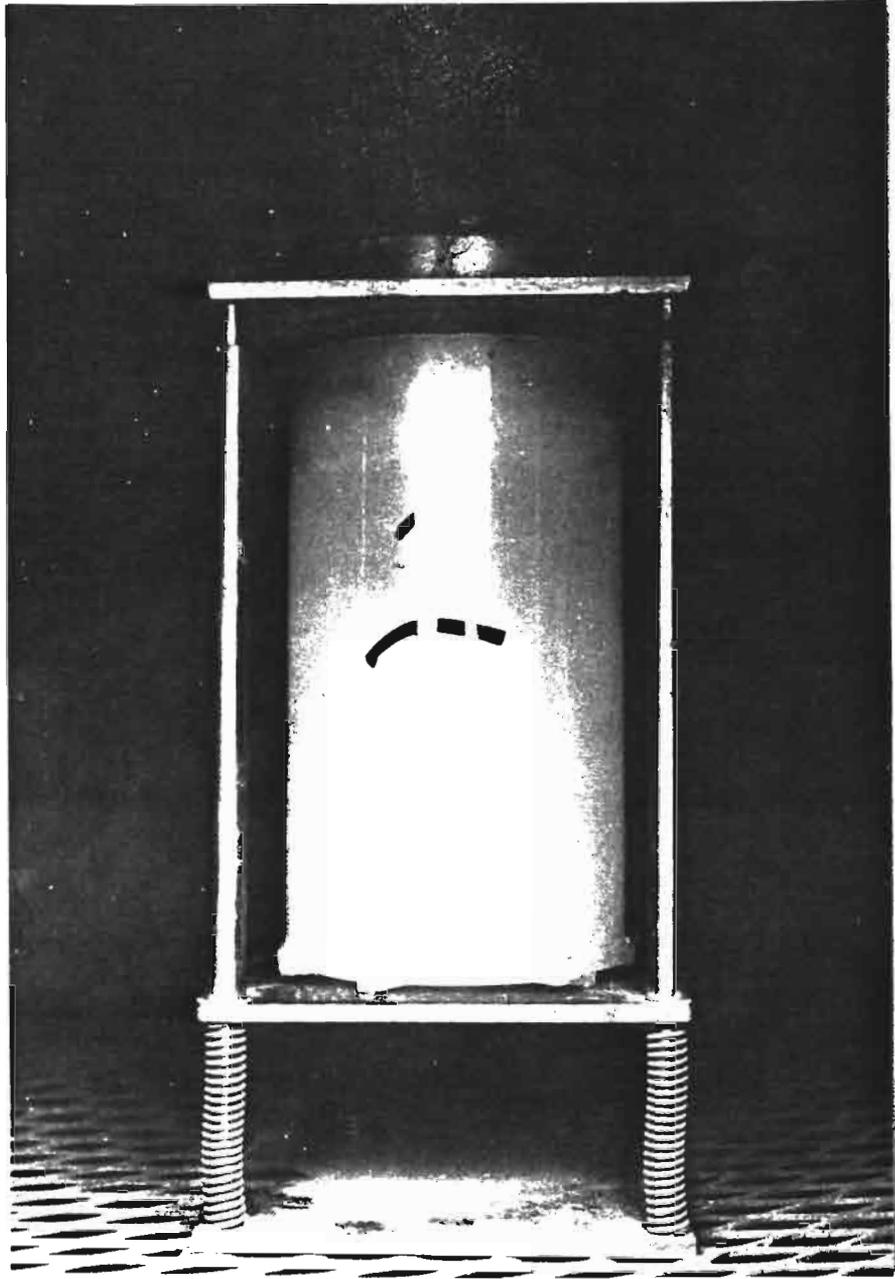


Photo 2. Vase de collecte du piège à aspiration.



Photo 3. Vue d'ensemble du site d'expérimentation de l'essai avec les différents pièges mis en place.

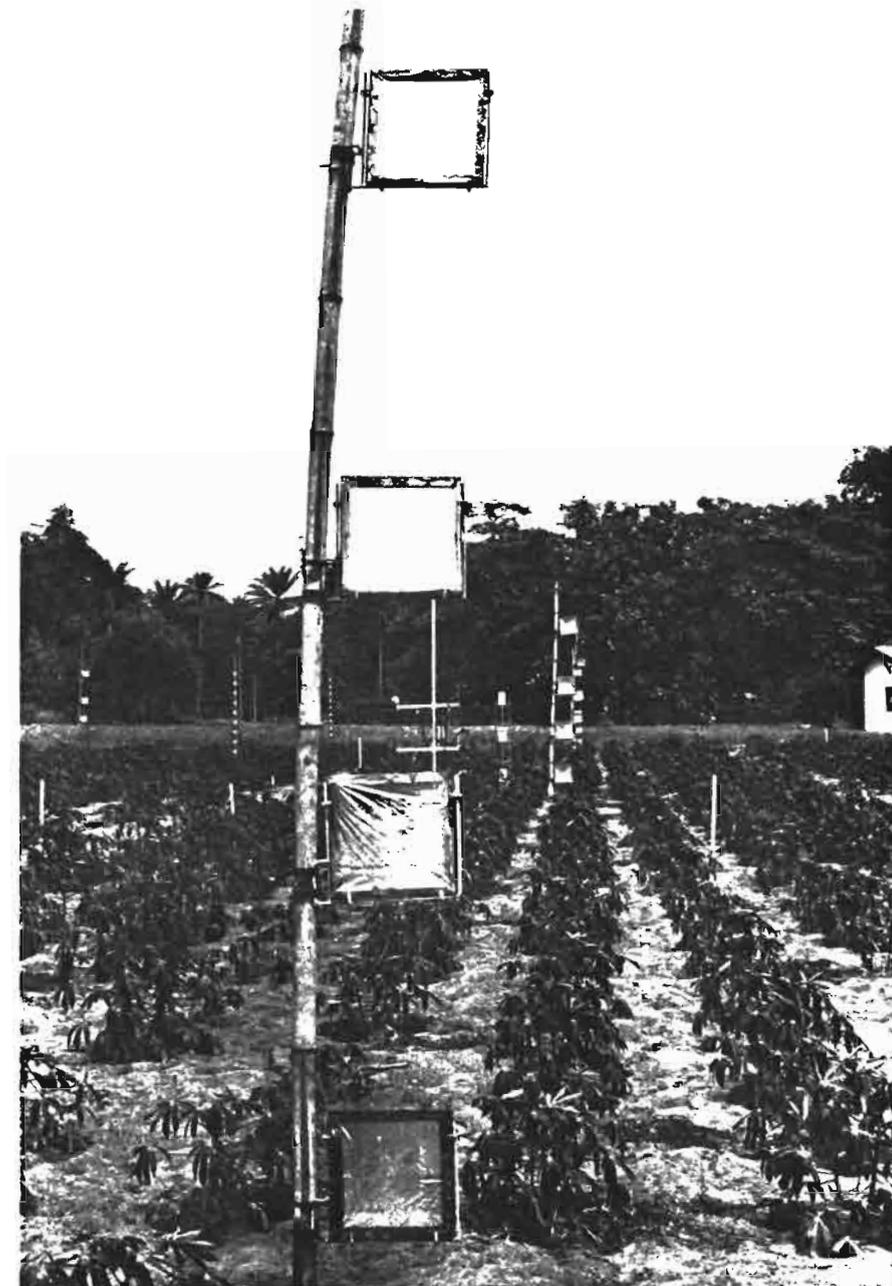


Photo 4. Quatre pièges à glu non attractifs montés à 0,50; 1,25; 2,00 et 3,25 m de hauteur.

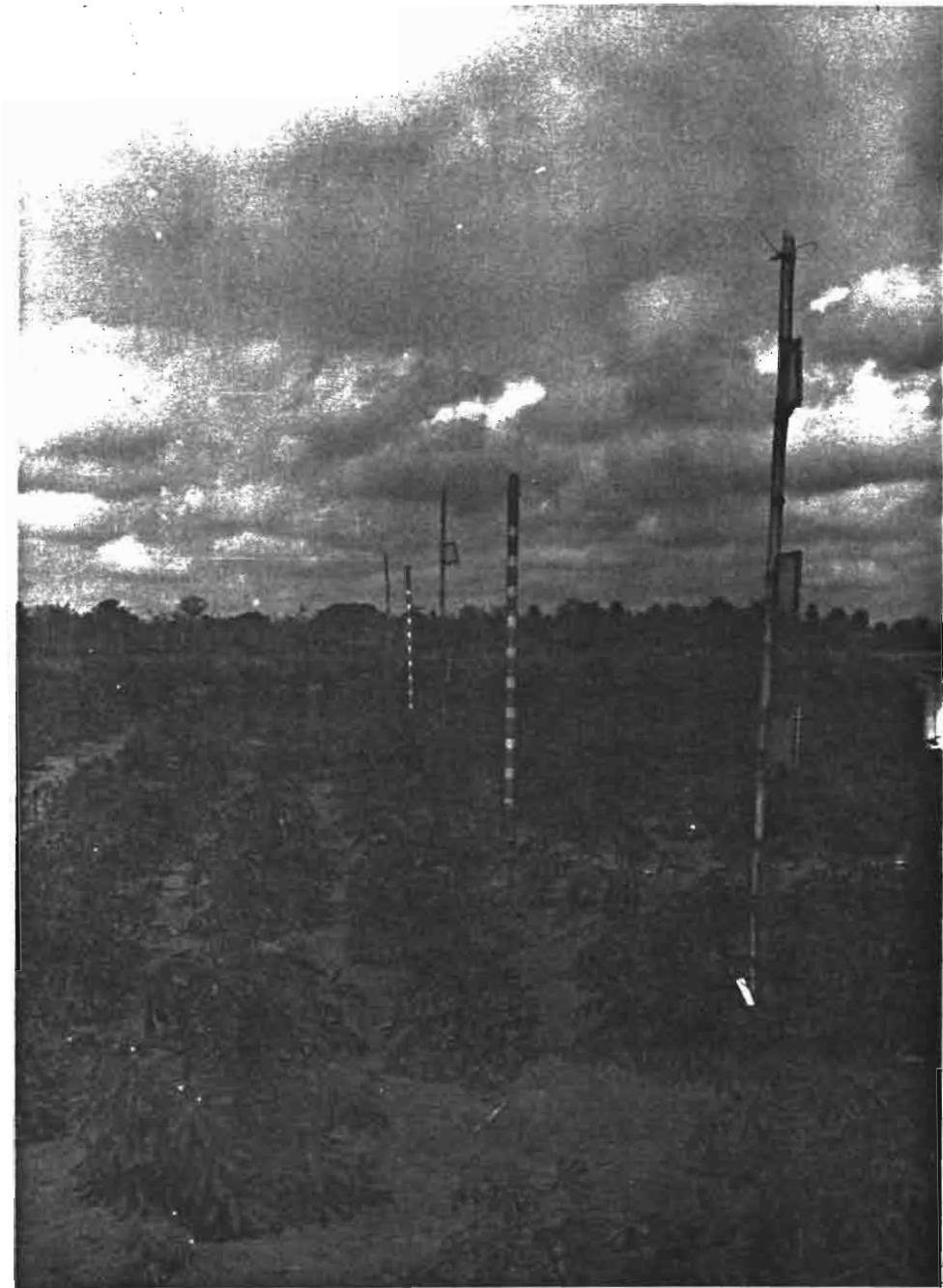


Photo 5. Ensemble de dix pièges cylindriques à anneaux jaunes disposés à des hauteurs allant de 0,25 à 4,00 m.



Photo 6. Détail d'un piège cylindrique à anneaux jaunes recouvert d'une feuille de cellophane transparente engluée et divisée suivant 8 directions.

les bambous **B** en bordure du champ, les bambous **C** 10 m à l'intérieur du champ, les bambous **D** au milieu du champ, les bambou **E** 10 m avant la fin du champ et les bambous **F** 15 m après le champ (Figure 1).

Les bambous sont placés dans le champ de sorte que les faces collantes des plastiques soient face à la direction du vent dominant (Sud-ouest). Afin de comparer l'efficacité de ces pièges, fixés à un cadre qui est toujours face au vent, on a installé deux pièges à glu sur des girouettes à 1,25 et 2,00 m de hauteur juste à côté d'un bambou en bordure du champ (Figure 1).

2.2.3. Pièges cylindriques a anneaux jaunes

Ces pièges sont constitués d'un tube en chlorure de polyvinyle (diamètre extérieur 10 cm), de quatre mètres de longueur. Le long du tube il y a 10 bandes de plastique autocollant de couleur jaune (polyéthylène, JAC-Adhésif France, film plastique, qualité 74100) de 10 cm de largeur. La distance entre les bandes est de 20 cm. Chaque bande est divisée en huit zones correspondant à huit directions (Photo 5). Ces tubes sont maintenus par des tubes de 60 cm (diamètre extérieur de 11 cm) qui sont enfoncés verticalement dans le sol, de telle sorte que le premier anneau jaune se trouve situé de 20 à 30 cm du sol. Les bandes de plastique jaune sont recouvertes de cellophane englué de colle pour insectes (Tanglefoot) (Photo 6).

Au total il y a donc dans le champ, deux lignes de six tubes qui sont placées entre les trois lignes des pièges a glu (Figure 1).

2.3. Instruments météorologiques

On a utilisé les données collectées par la Station de Bioclimatologie de l'ORSTOM, situé à 300 m du champ. Dans le champ les conditions locales du microclimat qui sont mesurées, sont les suivantes :

- A. Radiation solaire globale avec un pyranomètre KIPP, placé 10 m après le champ, à 2 m de hauteur.
- B. Neuf anémomètres (Casella, London) placés suivant un axe horizontal et un axe vertical. Dans le sens horizontal les anémomètres sont placés suivant un axe Sud-Ouest / Nord-Est à 4 et 2 m avant le champ, en bordure du champ, et à 2, 4 et 25 m dans le champ à une hauteur de 75 cm. 120 jours après plantation ils sont relevés à une hauteur de 150 cm. Pour le gradient vertical les anémomètres sont installés à 50, 125, 200 et 325 cm du sol au milieu du champ (Figure 1).
- C. Cinq thermocouples installés à 20, 50, 125, 200 et 325 cm du sol, avec une référence à un mètre dans le sol, au milieu du champ (Figure 1).
- D. L'humidité et la température sont enregistrés avec les thermohygrographes mécaniques à une hauteur de 50, 125 et 200 cm du sol, au milieu du champ (figure 1).

Les données des anémomètres, des thermocouples et du radiomètre sont mesurées toutes les heures pendant deux minutes, par une acquisition de données HP, et enregistrées sur bande magnétique.

2.4. Relevés

2.4.1. Croissance du manioc

La hauteur de la plus grande tige de dix plantes par bloc est mesurée chaque quinzaine (chaque semaine en janvier).

2.4.2. Comptage de mouches

Chaque semaine les mouches sont comptées sur la face inférieure des cinq premières feuilles d'un apex par plante. Le nombre d'apex par plante est également compté, ce qui permet d'estimer le nombre de mouches par plante. Les comptages sont effectués sur 10 plantes par bloc, ce qui fait 490 comptages par variable.

2.4.3. Comptage de larves

Le comptage des larves sur toutes les feuilles d'un plant de manioc représentant un énorme travail d'observation, nous nous sommes limités à un petit nombre de plantes. Au début de l'essai 14 plantes "représentatives" et réparties dans le champ sont choisies (deux lignes de 7 plantes) (Figure 1). Chaque semaine le nombre de larves sur toutes les feuilles d'une tige pour chaque plante est compté. Les 14 plantes choisies avaient toutes deux tiges, le nombre de larves par plante a donc été estimé en doublant le nombre de larves compté. De plus nous avons bagué, chaque semaine, la première feuille de l'apex de chaque tige et compté le nombre de feuilles dans chaque zone ainsi définie entre deux bagues.

2.4.4. Pièges à aspiration

Chaque jour (sauf le week end) à 8 h. les pièges à aspiration sont relevés et le nombre de mouches blanches est compté.

2.4.5. Pièges à glu

Chaque lundi matin les cadres englués sont installés dans le champ. Quatre jours plus tard le nombre de mouches par cadre est compté.

2.4.6. Pièges cylindriques à anneaux jaunes

Ces pièges sont utilisés pour deux types d'expérience, d'une part pour estimer l'activité journalière des mouches blanches et d'autre part pour quantifier l'activité des aleurodes au cours de la journée.

a. Activité journalière

Pendant une journée par semaine les 12 tubes sont placés dans le champ. Après 24 heures le nombre de mouches par zone et par anneau pour chaque tube, est compté. Cette expérience a été conduite tout au long de l'essai.

b. Activité pendant le jour

Pour cette expérience on a mis 6 tubes dans le champ, qui sont changés toutes les deux heures. Cette expérience a été répétée sept fois. Les deux premières fois les heures de changement étaient :

7.00h - 9.00h - 11.00h - 13.00h - 15.00h - 17.00h - 7.00h.

Ensuite nous avons changé les 6 tubes à :

6.30h - 8.30h - 10.30h - 12.30h - 14.30h - 16.30h - 18.30h.

2.4.7. Contamination

Toutes les deux semaines (chaque semaine en janvier) les plantes malades sont étiquetées et comptées. A la fin de l'essai un plan avec toutes les plantes et leurs dates de contamination est dressé.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans le chapitre 3 tous les résultats des différents relevés sont donnés et discutés dans le même ordre que leur présentation dans le paragraphe 2.4.

3.1. Croissance du manioc

La figure 3.1. montre que la hauteur moyenne des plantes (en cm) augmente linéairement. Après la date de plantation (23 novembre 1985) les plantes ont besoin d'un certain temps pour s'établir après quoi la croissance est stable.

Fin janvier il y a une baisse de la vitesse de croissance en une semaine (Fig. 3.2), qui peut être expliquée par la sécheresse de cette période (saison sèche-harmattan).

La figure 3.3 illustre le nombre de feuilles moyen émis par plante, en fonction du temps. La vitesse de croissance en nombre de feuilles par apex, par semaine, augmente (Fig. 3.4), probablement parce que la surface foliaire d'une plante devient de plus en plus grande permettant une croissance plus rapide. Une émission foliaire plus grande n'a pas d'influence sur la vitesse de croissance en cm. En général un apex donne deux à six nouvelles feuilles par semaine et croît en hauteur d'environ dix centimètres par semaine.

3.2. Populations des adultes de mouches blanches

3.2.1. Répartition des mouches blanches sur la plante

Les mouches blanches se trouvent presque toujours sur la face inférieure des feuilles, probablement parce que le microclimat est plus favorable que celui de la surface supérieure, ou parce que le cuticule de la surface inférieure est plus facile à percer.

Tôt le matin quand il fait frais, on voit beaucoup de mouches sur les feuilles, quand on compte les mouches sur les feuilles on voit que presque toutes les mouches se trouvent sur les cinq premières feuilles d'un apex et on trouve rarement des mouches dans les zones plus basses (FARGETTE, 1985). C'est pour cette raison que pendant l'essai nous avons compté le nombre de mouches uniquement sur les cinq premières feuilles d'un apex par plante. Ce comptage multiplié par le nombre d'apex nous a donné le nombre de mouches par plante. Il est certain qu'il s'agit là d'une approximation du nombre réel de mouches par plante, mais qui est voisine du nombre total. De plus en répétant les comptages avec toujours le même protocole, l'erreur est constante et de même importance.

3.2.2. Dynamique de la population de mouches blanches

La figure 3.5 montre l'évolution de la population des adultes d'aleurodes dans le temps. Après une période d'environ un mois pendant laquelle il y a très peu de mouches dans le champ, la population commence à se développer de façon exponentielle. Fin février nous avons compté en moyenne 135 mouches par plante. Après cette date la population baisse très rapidement jusqu'au niveau des comptages de mi-janvier (moins de 20 mouches par plante). Ensuite la population reste à peu près stable à ce niveau.

Comment expliquer ce développement ?

Après trois ou quatre semaines les feuilles apparaissent sur les maniocs et les premières mouches migratrices arrivent dans le champ. Quand les plantes sont encore petites, elles ne sont pas très attractives pour les mouches, la chance qu'une mouche trouve une plante est faible et la vitesse du vent dans le champ est encore forte. Quand les plantes poussent la partie des mouches migratrices qui restent dans le champ devient de plus en plus grande. "Les mailles du tamis deviennent de plus en plus petites". Il y a un deuxième phénomène qui commence alors à jouer un rôle : la reproduction des mouches dans le champ. Ces deux phénomènes produisent une croissance exponentielle de la population. Le deuxième, la production des nouvelles mouches dans le champ, est probablement le plus important.

La chute de la population des adultes au début nous est étonnante. En mars le nombre de mouches par plante tombe de 135 jusqu'à 20. Pour expliquer cette chute il y a deux hypothèses :

1. les mouches meurent et ne sont pas remplacées
2. les mouches deviennent migratrices et sortent du champ.

Dans cet essai il est difficile de distinguer entre les deux possibilités. Ce qui cause le départ ou la mort des mouches n'est pas évident. Il existe plusieurs possibilités :

a) Il y a trop de mouches dans le champ (overcrowding) ce qui fait mourir les mouches ou leur donne le signal du départ (comparable avec le système des pucerons aptères et ailés). Dans le cas de *B. tabaci* dans le manioc ce phénomène ne joue probablement pas un rôle, dans les autres cultures (par exemple le coton ou le gombo) la densité de *Bemisia* est beaucoup plus grande que sur le manioc.

b) Les conditions climatiques causent une chute de la population. Il est sûr que les facteurs climatiques (surtout la température) ont une influence sur la taille de la population. Avec les facteurs climatiques on peut même calculer le nombre de mouches dans un champ (FARGETTE, 1985). Ce calcul est fait dans un essai "plantation mensuelle" (P.M.) dans lequel l'influence des plantes est diminué en raison du fait que chaque mois de nouveaux champs sont plantés et on compare toujours les plantes de même âge. Fin mars et début avril la population de *B. tabaci* reste stable dans notre essai, au contraire dans l'essai P.M. il y a une forte augmentation (Fig. 3.6).

Le seul facteur climatique qui pourrait avoir une influence sur la population est la pluie. La période de la chute et de niveau bas après la chute se caractérise par des pluies fréquentes et parfois très importantes. Mais dans l'essai P.M. il n'existe pas de relation avec les pluies.

Alors il semble peu vraisemblable que les facteurs climatiques soient la cause de la diminution de la population de mouches.

c) Les plantes. Il est possible que les facteurs morpho-physiologiques des plantes aient une influence sur la population de mouches. Quelques facteurs morphologiques sont illustrés dans les figures 3.8 et 3.9. On voit que le nombre d'apex n'est pas du tout corrélé avec le nombre de mouches, bien qu'on voit qu'en avril il y a un effet de "dilution". Quand le nombre d'apex par plante augmente fortement, le nombre de mouches par apex baisse (Fig. 3.8 A et B). La vitesse de croissance en cm par semaine n'a pas non plus de relation avec le nombre de mouches (Fig. 3.9 A).

Quand on regarde la vitesse de croissance en nombre de nouvelles feuilles par apex par semaine et le nombre de mouches par plante il semble qu'il y ait une relation du

moins dans la première partie de la courbe (Fig. 3.9 B). Pourtant cette relation n'est pas très claire.

Une relation avec les facteurs physiologiques est bien possible. Nous n'avons pas pris en compte l'état physiologique de la plante. Il a déjà été trouvé plusieurs fois que trois mois après la plantation la population des mouches diminue dans un champ (FARGETTE, 1985).

Il est possible que l'état physiologique change beaucoup à partir de cette période. La chute de population dans notre essai peut être encore plus forte parce que cela coïncide avec une période de pluies (Fig. 3.7). L'état physiologique peut avoir une influence forte sur la mortalité des oeufs et des larves ou peut donner un signal de départ pour les adultes.

Une autre cause pourrait être l'état physiologique des insectes (ce qui pourrait être en relation avec l'état physiologique de la plante). On peut imaginer qu'à chaque génération de mouches il y ait modification de la physiologie des insectes jusqu'à un seuil de rupture qui provoquerait une migration des adultes.

Après cette chute la population n'augmente pas mais reste stable pendant le reste de l'essai. Il n'y a pas beaucoup de mouches dans le champ et les conditions climatiques sont par contre favorables puisque dans l'essai P.M. la population augmente fortement jusqu'à 100 mouches par plante. Ce fait soutient l'hypothèse que c'est l'état physiologique de la plante ou/et de l'insecte qui a causé la chute de la population.

3.2.3. Répartition des mouches blanches dans le champ

La répartition de mouches dans le champ n'est pas homogène. Normalement on trouve un gradient de contamination dans le champ qui correspond au vent dominant (FARGETTE, 1985). A côté du champ face au vent la densité de mouches est plus grande que dans le reste du champ.

A Adiopodoumé le vent dominant vient du Sud-Ouest. C'est pour cela que le champ et tous les pièges sont posés dans la direction Sud-Ouest - Nord-Est. On trouve un maximum de mouches au côté Sud-Ouest pendant presque tout l'essai quel que soit le niveau de la population (Fig. 3.10).

Cependant, en janvier, il y a l'harmattan qui est un vent qui vient de l'Est/Nord-Est. Il y a alors un gradient inverse avec un maximum du côté Est/Nord-Est du champ (Fig. 3.11 A). Quand on regarde plus précisément le gradient dans le reste de l'essai on voit que le maximum de mouches est situé au coin Ouest/Sud-Ouest du fait que le vent était un peu plus vers l'Ouest que normale (Fig. 3.11 B, + C).

L'existence du gradient est encore illustrée dans la figure 3.12 (A + G), qui compare le nombre moyen de mouches par plante avec le nombre dans chaque ligne. Bien que tous les graphiques suivent la même courbe ils ont un niveau différent selon le gradient dans le champ (axe à droite).

Il y a deux théories pour expliquer l'origine de ce gradient, qui sont toutes deux basées sur le transport des mouches par le vent.

a) La première théorie dit que les mouches qui sont amenées par le vent, sont attirées par les plantes et arrivent dans la bordure où elles restent (mouvements actifs).

b) La deuxième théorie est basée sur les turbulences du vent en

bordure du champ. Les mouches sont transportées par le vent jusqu'à la bordure du champ, elles sont concentrées à cet endroit parce que le vent est considérablement freiné (mouvements passifs) par la végétation et permet ainsi l'atterrissage des insectes.

Le fait que ce gradient persiste au cours du temps proviendrait de deux phénomènes concomitants :

- d'une part cet atterrissage préférentiel continue pour les mouches migratrices qui arrivent dans le champ,
- d'autre part il n'y aura pas beaucoup de mouvements à l'intérieur du champ, ce qui, compte tenu du fait que la multiplication des mouches est proportionnel aux mouches qui se posent, amplifiera et maintiendra ce phénomène.

3.3. Populations des larves de mouches blanches

3.3.1. Répartition des larves sur la plante

Chaque semaine nous avons compté toutes les larves sur toutes les feuilles d'une tige de 14 plantes. La figure 3.13 montre la répartition des larves sur les feuilles d'une tige. Ce graphique, résultat de la somme de 75 comptages sur une tige de plantes différentes pendant l'essai, nous montre qu'il y a une grande quantité de larves sur les feuilles numéro 7 jusqu'à 11. Cette grande quantité est constituée, pour la plupart, de larves de premier et deuxième stade. Les adultes se trouvent presque toujours sur les feuilles 1-5 et c'est là qu'ils pondent des oeufs. Il faut de 0,5 à 1 semaine pour que le premier stade sorte de l'oeuf, à ce moment la feuille est devenue la feuille numéro 5 à 9. Sur les feuilles plus jeunes il n'y a que des oeufs. A partir du moment où les larves sortent, elles subissent une mortalité (naturelle, parasites, prédateurs) qui explique que le nombre de larves diminue sur les feuilles plus âgées. De plus, la sortie des adultes survient après le quatrième stade larvaire. Le cycle de l'oeuf à l'adulte prend environ deux semaines (LEUSCHNER, 1979). Les oeufs sont pondus sur les feuilles numéro 1-5, et en deux semaines l'apex a produit environ dix nouvelles feuilles, alors on peut espérer que sur les feuilles numéro 11-15d la moitié des larves est devenue adulte. Ce calcul correspond bien avec le graphique 3.13.

La présence de larves sur les vieilles feuilles peut s'expliquer par l'importante variation de la vitesse de développement des larves. Il peut s'agir aussi de mouches qui pondent des oeufs sur les feuilles âgées.

3.3.2. Dynamique de la population des larves

La dynamique de la population des larves et des adultes de *B. tabaci* concordent (Fig. 3.14). Il n'existe presque pas de décalage entre les deux courbes en raison probablement de deux phénomènes complémentaires ; les adultes produisent des larves et les larves donnent des adultes. De plus les générations ne sont pas synchrones.

Il est regrettable que l'on n'ait pas commencé les comptages de larves plus tôt, afin de pouvoir distinguer la période de mise en place de la population par l'insecte migrateur.

Quand le nombre de larves par plante est divisé par le nombre d'adultes par plante (Fig. 3.15) on voit que jusqu'à fin février ce rapport est stable (+ ou - 30/40 larves/mouche) et qu'au moment de la chute de la population des adultes on trouve un pic dans la figure 3.14. Le nombre d'adultes diminue un peu plus tôt que le nombre de larves. Cela montre qu'à ce moment il y a

un effet sur le nombre d'adultes et que la diminution des adultes cause une diminution du nombre de larves un peu plus tard.

Après la chute de la population le rapport larves/mouche diminue jusqu'à un niveau plus bas qu'avant (15-20 larves/mouche). Probablement il y a une reproduction plus faible à cause des conditions défavorables (conditions climatiques ou/et physiologie de la plante).

3.3.3. Répartition des larves dans le champ

Comme le comptage des larves n'a été réalisé que sur deux lignes de sept plantes représentatives, il n'est pas possible de déterminer précisément la répartition des larves dans le champ. Les différences entre les plantes jouent probablement un rôle dans les résultats. Pourtant nous avons regardé le gradient dans le champ. La figure 3.16 (1-14) montre le nombre de larves par plante pour les 14 dates de comptages. En général il semble que le gradient de larves dans le champ correspond à celui des adultes. Au début de l'essai (janvier) du fait de l'harmattan les mouches migratrices arrivent alternativement de chaque côté du champ et la répartition de larves est plus ou moins homogène. Par la suite (février et mars) le vent se stabilise et le gradient de larves correspond bien au gradient de mouches. A la fin de l'essai (mars-avril) certaines plantes où sont faits les comptages ont eu des problèmes d'acarien mais il semble bien que le maximum de larves se déplace de la bordure au vent vers le centre du champ. Il n'y a donc plus correspondance entre gradient de larves et gradient d'adultes, ce pourrait être le reflet d'un comportement différent des mouches en bordure (au vent) et au centre du champ (voir plus loin). Par conséquent ce n'est pas la reproduction des mouches qui peut expliquer les grandes concentrations d'adultes sur les bordures en fin de cycle.

3.4. Pièges à aspiration

Les captures faites avec ce type de piège ont montré une grande instabilité (Fig. 3.16 bis a et b). On peut cependant voir que les deux pièges ont capturé des insectes suivant grossièrement la dynamique des populations des comptages, que ce soit à l'extérieur ou à l'intérieur du champ. Le piège à l'intérieur du champ a piégé plus d'insectes que celui situé à l'extérieur du champ, montrant ainsi que ce type de piège crée des turbulences d'air dans le champ propices à la collecte des mouches du champ ou bien que le piège à l'intérieur du champ capture une partie des insectes qui décollent du champ.

Ce type de piège devrait être amélioré pour optimiser et stabiliser les captures. Le rôle du vent et de sa vitesse pourrait également être étudié.

3.5. Piège à glu

3.5.1. Répartition verticale des captures

Comme les cadres se trouvent sur quatre hauteurs différentes (0,50 m, 1,25 m, 2,00 m et 3,25 m) il est possible de regarder le gradient vertical des captures de mouches. La figure 3.17 (1-20) montre ce gradient pendant tout l'essai. Comme la plus grande quantité des mouches se trouve sur les apex des plantes (§ 3.2.1.) la hauteur moyenne des plantes est aussi indiquée. En interprétant ces figures il ne faut pas oublier que ces pièges non-attractifs attrapent, en principe, plus de mouches, quand il y a plus de vent. Ce phénomène applati le gradient vertical, parce qu'il y a beaucoup plus de vent en haut qu'en bas dans le champ, inversement si le vent passe en-

dessous du seuil de vol des insectes, plus de mouches ont un vol actif et sont donc susceptibles d'aller sur les pièges. Pour visualiser le rapport entre les quatre hauteurs au cours du temps leurs captures relatives (capture sur chaque hauteur divisée par la capture totale) sont montrées dans le graphique 3.18 (1-4). Pendant les deux premiers mois la pente du gradient vertical est presque constante, bien qu'il y ait des petites différences d'une semaine à l'autre. Quand la population des mouches augmente le nombre attrapé sur les cadres du bas devient de plus en plus important, ce qui produit un gradient logarithmique (Fig. 3.17 (6-15) et Fig. 3.18 (4)). A la fin mars les plantes sont si hautes que le deuxième piège de chaque bambou (à 1,25 m de hauteur) se trouve dans la canopée et c'est là qu'on trouve la plus grande quantité de mouches (Fig. 3.17 (16-20) et Fig. 3.18 (2)) et après la mi-avril il y a même une influence sur les cadres à 2,00 m de hauteur (Fig. 3.17 (19-20) et Fig. 3.18(3)).

La courbe des captures sur les cadres de 3,25 m de hauteur est probablement le résultat de deux phénomènes. Ces pièges se trouvent toujours au-dessus de la canopée, ce qui fait que leurs captures relatives deviennent moindre quand il y a plus de mouches dans le champ, bien que leurs captures absolues augmentent dans la même période. De plus leurs captures sont influencées par les mouches migratrices qui viennent de l'environnement. Cette population suit la courbe de l'essai plantation mensuelle (Fig. 3.6). La courbe inverse des deux populations (intérieure et extérieure du champ) fait que les captures relatives sur 3,25 m de hauteur suivent la courbe de la figure 3.18 (4).

Pendant la chute de la population fin février/début mars il n'y a pas de changement dans le gradient vertical.

3.5.2. Dynamique des captures

Pour un piège non-attractif comme les pièges à glu on peut s'attendre à ce que les captures suivent la même courbe que la population de mouches comptée sur les plantes. La figure 3.19 montre que cela est vrai sauf pour le mois de mars. Dès la chute de la population le nombre de mouches attrapées sur les pièges à glu est relativement trop important. La figure 3.20 montre le même phénomène mais seulement pour les pièges qui sont dans le champ (positions C, D et E). Quand on divise le nombre de mouches attrapées sur les cadres par le nombre de mouches par plante (Fig. 3.21) on voit qu'au début de l'essai en décembre et janvier on attrape relativement beaucoup de mouches sur les pièges à glu. La cause en est que pendant cette période il y a très peu de mouches sur les plantes dans le champ qui sont encore très petites (moins que 0,50 m, fig. 3.1). A ce moment les pièges sont au-dessus du champ et les captures reflètent le nombre de mouches migratrices qui est relativement grand à cause des conditions climatiques favorables (plantation mensuelle). Dès la fin de janvier les pièges à 0,50 m sont dans la canopée, là où la plupart des mouches se trouvent et les captures reflètent la population du champ.

Au moment de la chute il y a un écart entre le nombre de mouches par plante et le nombre attrapé sur les cadres. Pour trouver la cause de cet écart on peut regarder la dynamique des captures par position [fig. 3.22 (A-F)]. Les captures dans le champ (positions C, D et E) suivent bien la population du champ. C'est également le cas des pièges extérieurs du champ (A et F). Pour les pièges F cela n'est pas étonnant ; ils attrapent les mouches qui sortent du champ avec le vent. Pour les pièges A on suppose que les captures montrent la courbe de l'arrivée des mouches "migratrices", qui dépend du nombre de mouches dans l'environnement (Plantation mensuelle, Fig. 3.6). Cela n'est apparemment pas le cas, au contraire les captures suivent très bien la population des mouches dans le champ. Cela semble indiquer que les mouches bougent contre le vent vers ces pièges.

Cette hypothèse est confirmée quand on regarde les captures sur les cadres à la bordure Sud-Ouest du champ (B). On voit que pendant la chute de la population ces captures en bordure sont relativement très importantes. Dans le même temps le nombre de mouches par plante dans la bordure n'a pas changé relativement (Fig. 3.12 A). Il y a donc là une énorme activité des

mouches. Il semble que la chute de la population soit causée par les adultes de mouches blanches, qui sortent du champ, donc un mouvement d'émigration. Les mouches dans le champ s'envolent contre le vent vers la bordure Sud-Ouest, d'où elles sortent.

La destination de ces mouches qui sortent du champ n'est pas évidente. Les captures sur les pièges A n'augmentent pas et il n'y a pas de changement visible dans le gradient vertical de ces pièges.

3.5.3. Répartition des captures dans le champ

Dans les figures 3.22 (A-F) on a déjà vu qu'il existe un gradient dans le champ (axe de droite). La figure 3.23 (A-C) montre la gradient dans le champ pendant trois périodes représentatives. On voit qu'il existe un gradient fort et qu'on trouve toujours la plus grande quantité de mouches sur les pièges B. Les figures 3.24 (A-D) montrent les captures relatives sur les quatre classes de pièges (avant, en bordure, dans et derrière le champ).

Pour les pièges A avant le champ les captures dépendent des mouches qui arrivent et de la population dans le champ. Ici les mêmes deux phénomènes qu'on a constaté pour les pièges sur 3,25 m de hauteur (§ 3.5.1) jouent un rôle. Au début les captures relatives augmentent parce que la population autour du champ augmente plus vite que la population dans le champ. En février les captures relatives baissent parce que le nombre de mouches dans le champ monte énormément. Après la chute de populations les captures relatives augmentent grâce aux populations extérieures qui augmentent (fig. 3.6). Les pièges F derrière le champ reflètent le nombre de mouches qui sortent du champ avec le vent. Avec la croissance des plantes la chance que les mouches soient emmenées avec le vent devient plus petite et donc la quantité relative baisse.

Les figures C et B illustrent ce qui se passe dans et en bordure du champ. Normalement les captures sur les pièges en bordure sont importantes. C'est là qu'on retrouve la plus grande quantité des mouches. Au moment de la chute on voit d'abord une capture relativement grande dans le champ ; les mouches commencent à bouger. Les mouches bougent vers la bordure, alors les captures relatives dans la bordure deviennent beaucoup plus grandes tandis que dans le champ elles baissent.

3.6. Pièges cylindriques à anneaux jaunes

3.6.1. Répartition verticale des captures

Les pièges cylindriques ayant des bandes jaunes sur dix hauteurs différentes permettent de faire un gradient vertical des captures. Le problème avec l'interprétation du gradient est qu'il est le résultat de plusieurs facteurs.

Le nombre de mouches attrapées sur les bandes jaunes dépend du nombre de mouches dans le champ, de l'activité des mouches et de la vitesse du vent.

D'abord il y a la densité de mouches. La plupart de mouches se trouvent au niveau de la canopée. Il est évident que plus il y a de mouches dans le champ, plus on en attrape sur les bandes. L'activité des mouches peut dépendre des facteurs climatiques (vent, température, lumière, pluies, etc.), de l'état des plantes, mais aussi de l'état de l'insecte (par exemple signal migrateur). Ensuite il y a l'influence importante du vent. Dans la zone où la vitesse du vent est plus faible que la vitesse de vol de la mouche, l'insecte peut bouger vers la surface jaune. Au-dessus de

cette zone cela n'est pas possible (théorie du boundary layer). La hauteur du boundary layer dépend de la vitesse du vent qui est réduite par les plantes.

Les figures 3.25 (1-12) montrent les gradients verticaux de mouches pour les différentes dates. Le gradient est très fort parce qu'il est le résultat du gradient de mouches et du gradient de vent. Le gradient peut changer d'un jour à l'autre en raison d'une activité des mouches différente ou en raison d'un vent plus ou moins fort.

Avec la croissance du manioc les mouches suivent la canopée et le maximum des captures se trouve sur la bande qui est dans la canopée. Néanmoins il y a toujours une grande quantité des mouches sur la bande de 0,25 m de hauteur, sans doute parce que là le vent est très faible.

Quand on regarde le gradient vertical en captures relatives (Fig. 3.26) on voit très bien que le maximum de captures se déplace avec la hauteur des plantes : 0,25 m - fin janvier, 0,55 m - fin février, 0,85 m - mi-mars, 1,15 m - fin mars, 1,45 m - avril, 1,75 m - fin avril. Au moment de la chute de population (début mars) il y a un minimum sur toutes les hauteurs, sauf à 0,25 m et 0,55 m où on trouve un maximum. Cela montre encore une fois la grande activité de mouches dans le champ dans cette période.

3.6.2. La dynamique des captures

Comme les captures des pièges cylindriques sont effectuées sur une période de 24 heures, leurs captures sont influencées par les changements de l'environnement ou de l'activité des mouches d'un jour à l'autre.

La figure 3.27 montre que les captures sur les pièges jaunes suivent bien la population des mouches dans le champ. Cependant la relation n'est pas très forte, ni avec le total (Fig. 3.27), ni avec les tubes dans le champ (Fig. 3.28). Les captures sur les bandes jaunes divisées par le nombre de mouches par plante (Fig. 3.29) augmentent dans le temps avec un maximum début mars, probablement parce que le vent est plus freiné par les plantes plus grandes.

Après la chute de la population l'efficacité des tubes diminue peut être à cause de l'activité migratoire des mouches qui fait qu'elles sont moins attirées vers les tubes ou, ce qui est plus probable à cause du fait que les pièges sont plus cachés par les plantes, leur visibilité diminue et leur attractivité est moindre, parce qu'il y a moins de lumière dans le champ.

3.6.3. Répartition des captures dans le champ

Les figures 3.30 (A-C) montrent le gradient dans le champ à trois dates différentes. Elles montrent que les captures en dehors du champ sont toujours basses comparées avec celles du champ. Les figures montrent aussi que le gradient des mouches par plante dans le champ n'est d'abord pas retrouvé dans les captures sur les bandes jaunes. Comme nous l'avons déjà dit dans le chapitre précédent les captures ne dépendent pas seulement de la densité de mouches mais aussi de la vitesse du vent. Cela explique qu'au début de l'essai les captures au côté Sud-Ouest du champ sont plus petites que celles de l'autre côté, bien qu'il y ait plus de mouches au côté Sud-Ouest, mais le vent est trop fort. Quand les plantes poussent le vent est freiné considérablement dans tout le champ ce qui fait que les captures maximales se déplacent vers le côté Sud-Ouest. Lorsque la canopée est formée, les deux se superposent car l'effet du vent est alors nul sur celui des captures sur les pièges à glu cylindriques jaunes.

Quand on regarde l'évolution des captures relatives pour les quatre classes de piège (avant, en bordure, dans et derrière le champ) [Fig. 3.31 (A-D)] on voit que pour les pièges

avant et derrière le champ (A et D) les captures relatives sont inverses de la croissance de la population des mouches dans le champ.

Cette diminution est reliée à la population de l'environnement qui baisse dans cette période, mais elle est surtout reliée au fait que les mouches sont plus facilement attrapées dans le champ, parce que le vent est freiné par les plantes. Après la chute de la population la visibilité relativement meilleure des pièges extérieurs au champ, la migration des mouches et l'augmentation de la population dans l'environnement font que les captures relatives augmentent. Pour les tubes en bordure et dans le champ on aperçoit les mêmes phénomènes que pour les pièges à glu (Fig. 3.24). Au moment de la chute de population il y a un pic dans les captures dans le champ, après on attrape relativement peu de mouches dans le champ, mais beaucoup plus en bordure.

3.6.4. Répartition des captures suivant les directions du vent

Les bandes jaunes sur les tubes sont divisées en huit zones, correspondant aux directions du vent. Les figures 3.32 (1-12) montrent les répartitions des mouches selon les directions pour les 12 dates de captures. Sur les mêmes figures la direction du vent pendant ce jour est indiqué.

On voit que la plus grande quantité de mouches se trouve au côté opposé de la direction du vent, surtout quand le vent vient de la même direction pendant toute la journée [Fig. 3.32) (3,6)]. Donc les mouches volent face au vent. Comme illustré dans le chapitre 3.6.1. le gradient vertical est très fort et la plupart des mouches se trouvent dans la canopée. Il y a donc un mouvement des mouches vers la bordure Sud-Ouest, d'où vient le vent dominant.

Il est regrettable que l'on n'ait pas les résultats de la première période quand il n'y a que des mouches qui arrivent dans le champ, probablement transportées par le vent et que les résultats du 7 mars soient perturbés par une pluie.

Quand on regarde les directions des captures sur les hauteurs différentes, ce qui est fait ici pour les captures du 17 avril (Fig. 3.33) on voit une belle illustration de la théorie du "boundary layer". La capture totale ayant un maximum du côté nord-est, face au vent Sud-Ouest, est surtout le résultat des bandes au niveau de la canopée (à 1,15 m de hauteur on trouve aussi beaucoup de mouches au côté Sud. Au-dessus de cette bande (1,45 m et plus haut) on voit que les mouches se trouvent surtout au côté Sud-Ouest. Donc dans le champ les mouches bougent activement face au vent, alors qu'au-dessus de la canopée le vent est trop fort et elles sont emportées par le vent.

3.6.5. Activité des mouches blanches pendant la journée

3.6.5.1. Activité bi-horaire

L'activité des mouches blanches dépend normalement de la température et de la lumière (LEUSCHNER, 1979). Dans notre essai la température était presque toujours supérieure à 27°C.

Nous avons regardé l'activité des mouches pendant la période de jour de huit dates différentes 3.34 (1-8). On voit que l'activité des mouches est toujours très grande tôt le matin, avec un second maximum à la fin de l'après-midi.

Le 4/2 et le 18/3 le pic du matin a lieu un peu plus tard, probablement parce que ces jours la température du matin était relativement basse [respectivement 23,0°C et 23,5°C à 7 heures (normalement 26°C)] ce qui peut empêcher les mouches de bouger.

Les deux pics d'activité peuvent être expliqués par une combinaison de plusieurs facteurs comme le vent, l'état de la nutrition de l'insecte et la lumière. A Adiopodoumé il n'y a normalement pas de vent pendant la nuit. Le vent augmente le matin jusqu'à un maximum entre midi et deux heures, après il baisse. Alors les mouches peuvent très bien être influencées par le vent ; quand il y en a trop, elles restent sur les plantes ou elles ne peuvent pas atteindre les pièges. Le fait qu'on trouve une grande activité le matin peut également être corrélé avec l'énergie des mouches . Pendant la nuit elles peuvent se nourrir, tôt le matin elle ont acquis suffisamment d'énergie pour bouger activement dans le champ. De même la lumière (direction d'insolation, quantité de lumière) peut influencer l'activité des mouches.

3.6.5.2. Répartition verticale pendant la journée

Pour deux dates de captures (4/03 et 15/04) nous avons regardé le gradient vertical par période du jour. Les figures 3.35 (1-6) et 3.36 (1-6) montrent ces gradients verticaux. Il est évident que dans la première période, tôt le matin, l'activité des mouches est plus grande, surtout au niveau de la canopée. Après cette période on trouve un gradient avec le maximum sur les bandes du bas.

3.6.5.3. Directions des captures pendant la journée

Pour trois dates (4/02, 4/03 et 15/04) on a regardé les directions des captures pour les périodes de la journée (Fig. 3.37, 3.38 et 3.39). Les résultats montrent encore une fois que les mouches bougent contre le vent. Quand il y a très peu de vent [Fig. 3,39 (1, 4)] il n'y a pas de maximum bien établi.

3.7. Contamination du champ

Les comptages des plantes virosées montrent une contamination rapide (Fi. 3.40), atteignant presque 100 % en avril au moment où l'on a arrêté l'essai. Pour trouver une relation avec le nombre de mouches blanches il faut regarder la vitesse de contamination. La figure 3-41 nous montre un pic qui ressemble au pic des mouches par plante. Quand on les compare on voit qu'il y a un écart de temps entre les deux. Cet écart est dû à la période de latence de la maladie. Normalement il y a une période entre l'inoculation et les symptômes de quelques semaines, qui dépend de la plante et des conditions climatiques (FARGETTE, 1985). Dans le cas de cet essai on voit que les deux pics (mouches et contamination) ont un écart d'environ 4 semaines (Fig. 3.42). Avec cet écart de 4 semaines le coefficient de corrélation entre mouches et contamination est de 0,92, ce qui est hautement significative ($p < 0,01$). Pour un écart de 3 ou 5 semaines il n'y a pas de corrélation significative (respectivement $r = 0,32$ et $0,16$).

Selon les deux théories existantes, le gradient est causé par l'arrivée des mouches dans le champ. Les résultats des pièges cylindriques montrent qu'il existe dans le champ un mouvement des mouches contre le vent qui renforce le gradient. Probablement le gradient est le résultat de ce mouvement et de l'arrivée des mouches dans le champ. Les comptages des larves semblent montrer un gradient. Cette diminution de reproduction sur les bordures est compensée par les mouvements des mouches de l'extérieur. Il est dommage que les comptages de larves soient effectués sur seulement 14 plantes, ce qui fait que les résultats sont moins sûrs. Le deuxième petit pic qui existe parfois au côté Nord/Nord-Est du champ est plus difficile à expliquer. Il est possible que la brise de terre qui a lieu parfois le matin apporte des mouches de ce côté ou bien que les turbulences qui existent à la fin du champ favorisent l'atterrissage d'insectes qui ne se sont pas posés ou bien qui ont décollé à la bordure Sud/Sud-Est du champ.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

4.1. Répartition verticale des mouches blanches

Les observations des pièges cylindriques et des pièges à glu montrent tous les deux un gradient vertical très fort. Pour les pièges cylindriques le gradient est renforcé par l'efficacité des bandes qui diminue avec la hauteur (3.6.1.). Les pièges à glu donnent un gradient moins fort en raison du vent qui influence les captures sur les hauteurs différentes (3.5.1.). Les captures et les observations montrent que la population des mouches suit la canopée. Au-dessus de la canopée la densité des mouches diminue de façon logarithmique (sur le trajet observé).

Sur les plantes on trouve presque toutes les mouches sur les apex, bien que sur les pièges on trouve aussi beaucoup de mouches en-dessous de cette zone. Probablement juste au-dessus du sol il y a une zone avec une petite densité des mouches mais avec une grande activité grâce à une quasi absence de vent (boundary layer permanente).

4.2. Répartition des mouches blanches dans le champ

Dans le champ on trouve toujours un gradient de mouches avec un maximum en bordure face au vent dominant. Ce gradient est trouvé en comptant les mouches par plante et sur les pièges. Au début de l'essai on compte relativement peu de mouches sur les pièges cylindriques à cause du vent qui est peu freiné par les plantes.

4.3. Dynamique de la population

Après une période d'installation la population de mouches se développe de façon exponentielle. Ensuite la population tombe à un niveau bas. La quantité de larves suit bien celle des adultes, sauf dans la période de la chute où la population des larves chute un peu plus tard. Les résultats des comptages et des piégeages montrent que la chute pourrait être due à un mouvement d'émigration des mouches et non pas à une augmentation de la mortalité de celles-ci. Le signal migratoire n'est pas provoqué par des conditions climatiques défavorables ni par le phénomène de surpopulation, mais il est dû probablement à l'état physiologique des plantes et/ou des insectes. Ce signal de départ fait que la population diminue et se stabilise à un niveau bas.

4.4. L'activité des mouches blanches

Il y a plusieurs facteurs qui ont une influence sur l'activité des mouches blanches.

a). Le vent

Le vent détermine l'existence et la direction des vols des mouches. Quand la vitesse du vent est inférieure à la vitesse de vol, l'insecte bouge contre le vent, quand le vent est plus fort l'insecte est emporté par le vent.

Le vent détermine aussi l'activité des mouches. Il semble qu'un vent fort empêche le décollage et que l'insecte reste sur la plante. Quand il y a peu de vent (boundary layer et tôt le matin) il y a une grande activité.

b). La température

Pour que l'insecte puisse voler il est important que la température soit assez élevée. LEUSCHNER (1979) a montré que la température doit être supérieure à 27°C pour que les mouches volent. Les résultats de notre essai semblent confirmer ces résultats, mais il faudrait exploiter les données climatiques enregistrées, pour le démontrer.

c). L'état physiologique de la plante et des insectes

Dans les trois premiers mois de l'essai les plantes sont de bons hôtes pour les mouches blanches. Au moment de la chute il y a probablement un changement de la physiologie de la plante ou/et des insectes qui fait que les mouches sortent du champ.

d). Les autres facteurs qui ont probablement une influence sur l'activité des mouches mais qui ne sont pas étudiés dans notre lessai

- La lumière. Quand il n'y a pas de lumière les mouches ne bougent pas ; elles commencent à voler au début de la journée (LEUSCHNER, 1979).

- L'humidité. Quand il fait sec (harmattan) les mouches ne peuvent pas voler à cause du danger de dessèchement et inversement si l'humidité est trop importante il y aura des parasites sur les larves.

- L'énergie de l'insecte. Avant de pouvoir voler l'insecte doit avoir assez d'énergie pour ce faire.

- La pluie. Pendant les pluies le vol n'est pas possible et il est probable que les fortes pluies ont un effet de "lessivage" des insectes.

4.5. Les mouvements et leurs directions

La figure 4.1. montre tous les mouvements des mouches blanches dans et en dehors du champ. Ces mouvements peuvent être divisés en trois catégories :

A. Les mouvements verticaux dans le champ

Les comptages de larves ont montré que les oeufs pondus sur les premières feuilles (1 à 7) sont devenus des adultes quand les feuilles sont devenues les feuilles numéro 11-15. Alors toutes les mouches qui sortent des puparium bougent vers l'apex de plantes pour se nourrir et pour pondre des oeufs (Fig. 41, flèche A). Sur les plantes on trouve la plupart des mouches sur l'apex. Les résultats des pièges cylindriques montrent qu'on trouve beaucoup d'activité des mouches plus bas. Alors il semble que les mouches viennent dans une zone plus basse pour se déplacer dans le champ. Après elles peuvent retourner vers les apex, mais ce mouvement n'a pas été montré dans cet essai (Fig. 41, flèche B).

B. Les mouvements horizontaux dans le champ

Les captures sur les pièges cylindriques montrent que les mouches volent contre le vent.

Dans le champ il y a deux zones différentes. Juste au-dessus du sol le vent est très faible et presque toujours moins fort que la vitesse de vol des mouches. Cette zone peut être appelée "boundary layer permanente" et au sein de laquelle les mouches volent contre le vent (Fig. 41, flèche C). Au-dessus de cette zone dans la canopée, et au-dessus, la force du vent change constamment d'inférieure à supérieure à la vitesse de vol de l'insecte (boundary layer non-permanente). Alors, bien qu'elles veulent bouger contre le vent elles sont souvent rejetées par le vent (Fig. 41, flèche D).

C. Les mouvements en dehors du champ

Quand les mouches sortent du champ elles arrivent dans une zone où la "boundary layer" est plus petite. Comme les mouches bougent contre le vent c'est en bordure Sud-Ouest du champ qu'elles sortiront. A cause du vent plus fort en dehors du champ elles sont rejetées dans le champ, ce qui a pour résultat une capture plus grande sur les pièges à glu dans la bordure.

Il y a pourtant des mouches qui sortent du champ. Quelques unes de ces mouches volent près du sol et sont capables d'arriver aux pièges à glu 15 mètres avant le champ (Fig. 41, flèche E). Les autres arrivent dans une zone de vent fort et elles sont rejetées dans le champ ou amenées par le vent à une hauteur plus haute à cause des turbulences en bordure du champ (Fig. 41, flèche F).

Du côté Nord/Nord-Est du champ il y a probablement une petite quantité de mouches qui arrivent dans le champ en volant dans le "boundary layer" où elles sont emmenées par le vent (brise de terre) (Fig. 41, flèche G). De ce côté il y a aussi des mouches du champ qui en volant sont pris par le vent et emportées (Fig. 41, flèche H). Entre les champs la plupart des mouches se trouvent en-dessus du "boundary layer" et elles passent au-dessus du champ (Fig. 41, flèche I) ou elles arrivent à atteindre le champ de manioc (Fig. 41, flèche J).

5. RECOMMANDATIONS POUR LES RECHERCHES FUTURES

Notre étude était la première étude sur les mouvements de *B. tabaci* à Adiopodoumé et a suscité autant de nouvelles questions que de réponses. Nous voudrions indiquer quelques idées et possibilités pour des futures recherches.

1. En raison du temps court pour préparer l'essai, il manque beaucoup de données sur l'installation de la population, par exemple la quantité de mouches arrivant, la première date à laquelle on trouve des larves, etc...
2. Nous avons montré qu'il y a beaucoup de processus qui se passent à la bordure du champ. Une étude plus précise sur ces processus est importante, y compris le changement du vent et les turbulences induites.
3. Afin de pouvoir quantifier l'immigration et l'émigration des mouches dans le champ il est nécessaire de développer des pièges non-attractif qui attrapent de grandes quantités de mouches (p.e. filet collant) et qui soient plus hauts.
4. Les comptages des larves peuvent être effectués seulement sur les feuilles n° 7-10 des plantes. C'est là qu'on trouve la plupart des larves, ce qui permet de compter plus de plantes.
5. Il faut améliorer les pièges à aspiration afin qu'on puisse utiliser ces pièges pour les mesures de l'activité des mouches pendant la journée (ventilateur plus fort, entonnoir plus fin, etc...). Les résultats des pièges à aspiration sont plus faciles à interpréter parce qu'ils sont moins influencés par le vent.
6. Une étude de l'origine du signal migratoire, qui se trouve probablement dans la physiologie de la plante ou/et de l'insecte peut donner des résultats intéressants pour la génétique du manioc et pour la lutte contre la maladie.
7. Pour pouvoir estimer les mouvements sur des hauteurs différentes il faut développer un piège non-attractif et cylindrique. L'usage des pièges à aspiration à des hauteurs différentes pourrait être utile.

6. BIBLIOGRAPHIE

- BOCK K. R., GUTHRIE E. J., 1978. Transmission of African cassava mosaic by mechanical inoculation. *Plant. Dis.*, **62**, 580-581.
- CHANT S. R., BATEMAN J. G., BATES D. C., 1971. The effect of cassava mosaic virus infection on the metabolism of cassava leaves. *Trop. Agric. Trinidad*, **48**, 263-270.
- COLON, L., 1984. Contribution à l'étude de la résistance variétale du manioc vis à vis de la mosaïque africaine du manioc. Rapport de stage, *Rapport ORSTOM*, multigr., 98p.
- DENGEL, H.J., 1981. Untersuchungen über das Auftreten der Imagines von *Bemisia tabaci* (Genn.) auf verschiedenen Manioksorten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **88**, 335-366.
- DUBERN J., 1979. Quelques propriétés de la Mosaïque africaine du manioc. 1. Transmission. *Phytopath. Z.*, **96**, 25-39.
- FARGETTE, D., 1985. Epidémiologie de la Mosaïque Africaine du Manioc en Côte d'Ivoire. Mémoire de thèse, soutenue le 10/12/85 à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, de Montpellier, 203p.
- FARGETTE, D., FAUQUET, C. & THOUVENEL, J.-C., 1985. Field studies on the spread of African Cassava Mosaic. *Ann. appl. Biol.*, **106**, 285-294.
- LEUSCHNER K., 1977. Whiteflies : Biology and transmission of African mosaic disease. *Proc. Cassava. Protec. Workshop.*, CIAT, Columbia, 51-58.
- MOUND L. A., HALSEY S. H., 1978. *Whitefly of the world*. British Museum and J. Wiley & Sons, 340p.
- PEDGLEY D., 1982. *Windborne pests and diseases. Meteorology of Airborne organisms*. Wiley Intersciences, 250p.
- RAVEN, P., 1984. Etude des réservoirs de la Mosaïque Africaine du Manioc. Rapport de stage, Rapport ORSTOM, multigr., 37p.
- TAYLOR L. R., 1974. Insect migration, flight periodicity and the boundary layer. *J. anim. Ecol.*, **43**, 225-238.
- VAN EMDEN, H.F., 1972. *Aphid technology*. Academic Press London & New-York. 344p.
- WARBURG O., 1894. Die kulturpflanzen usambaras. *Mitt. Dtsch. Schutzgeb* **7**, **131**. (in *Ann. appl. Biol* **25**, 790-806).

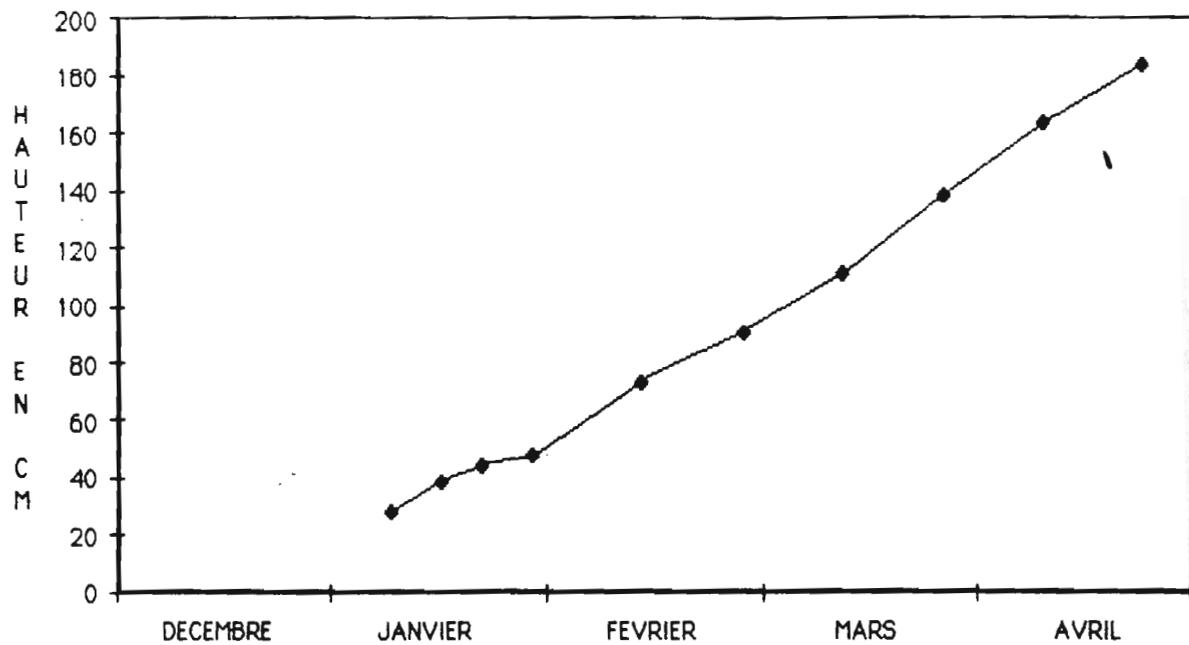


Figure 3.1. Hauteur du manioc, en cm, au cours du temps (nombre de plantes : 490).

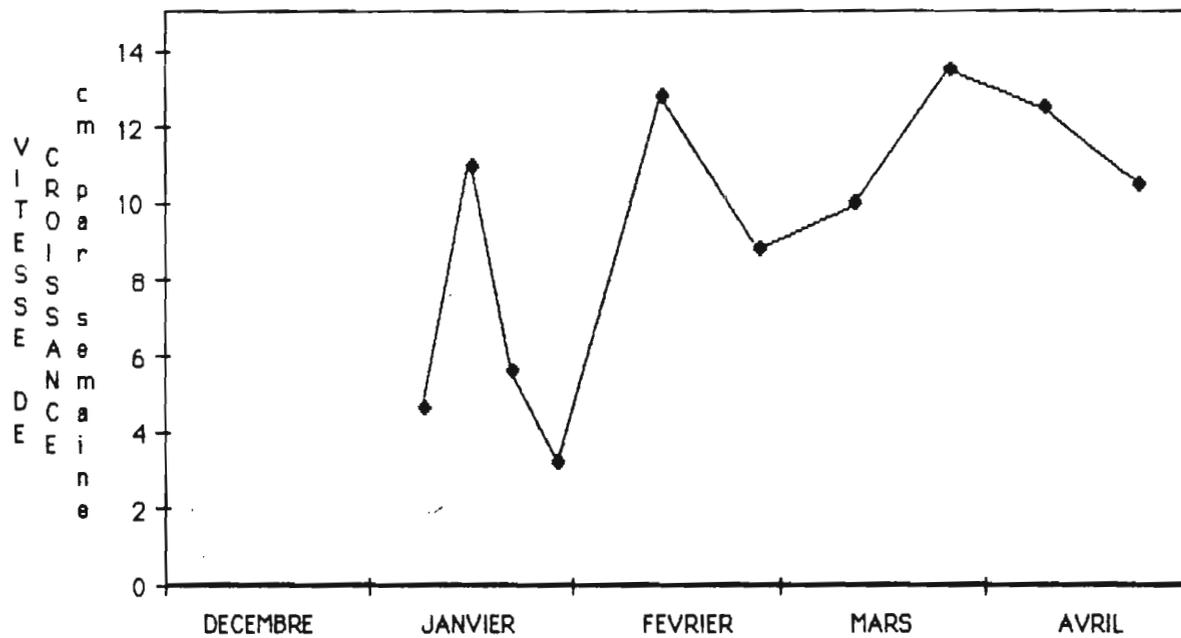


Figure 3.2. Vitesse de croissance de manioc, en cm, par semaine au cours du temps (nombre de plantes : 490).

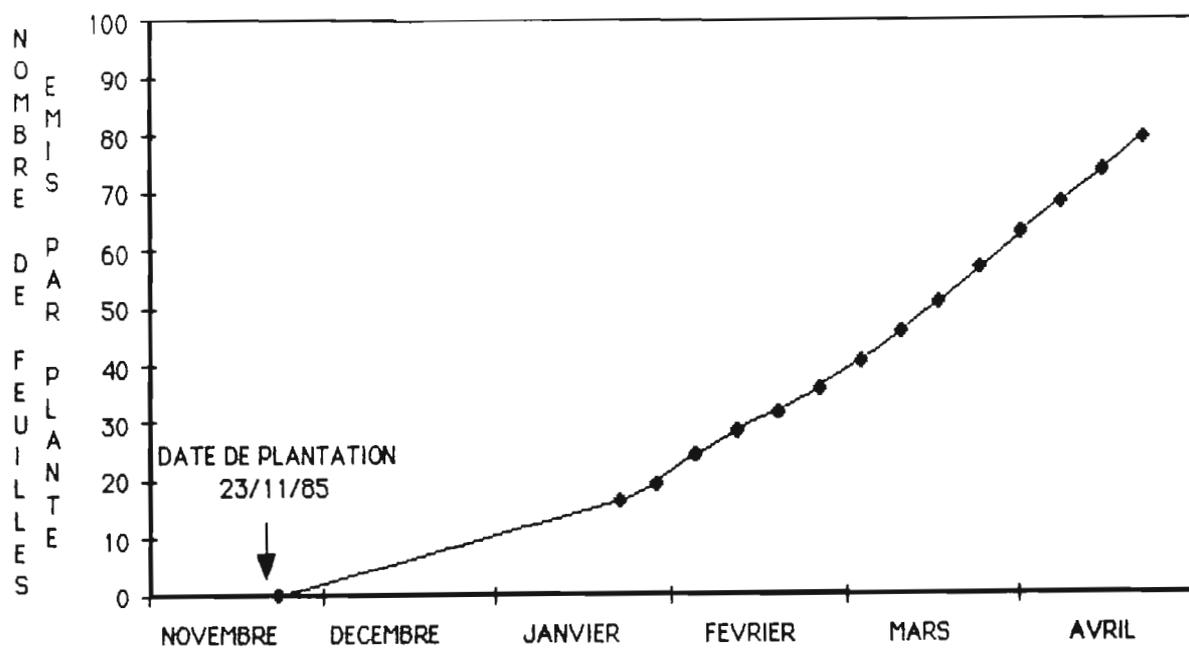


Figure 3.3. Nombre cumulé de feuilles émises par plante, au cours du temps (nombre de plantes : 14).

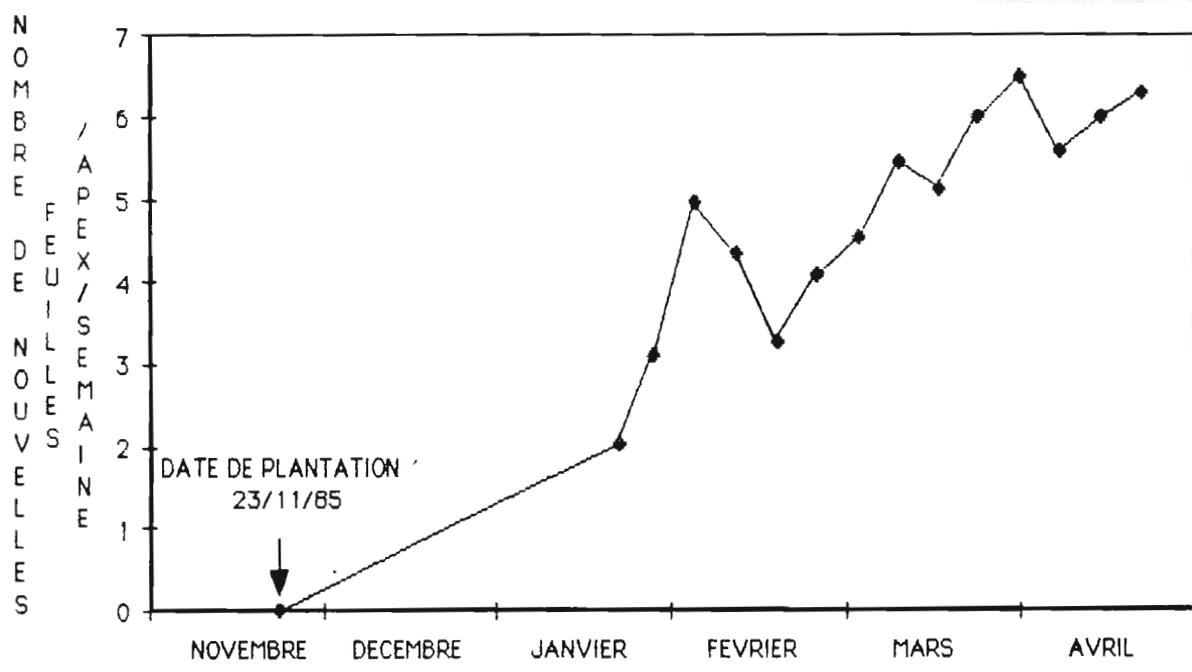


Figure 3.4. Nombre de nouvelles feuilles par apex, par semaine, au cours du temps (nombre de plantes : 14).

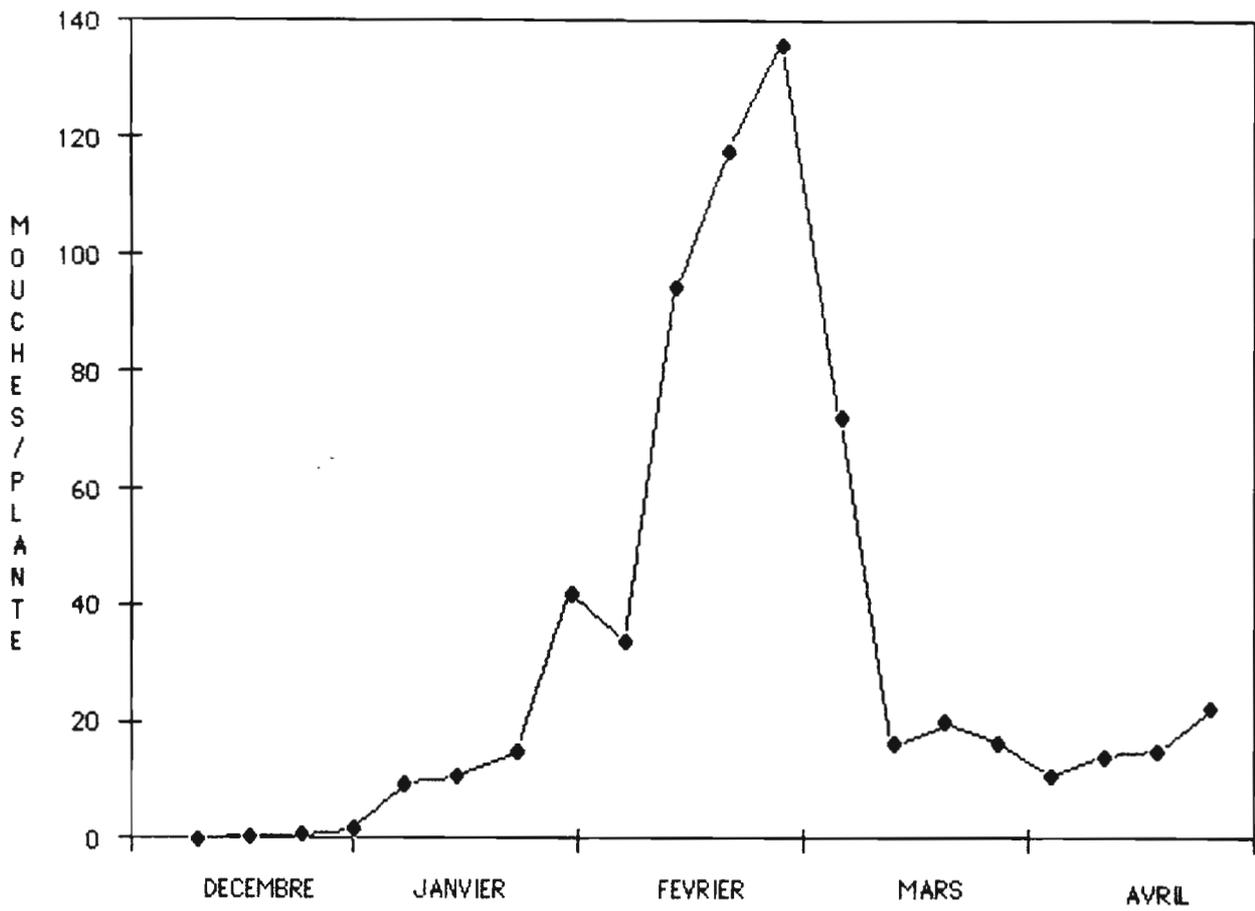


Figure 3.5. Nombre de mouches blanches par plante au cours du temps (nombre de plantes : 490).

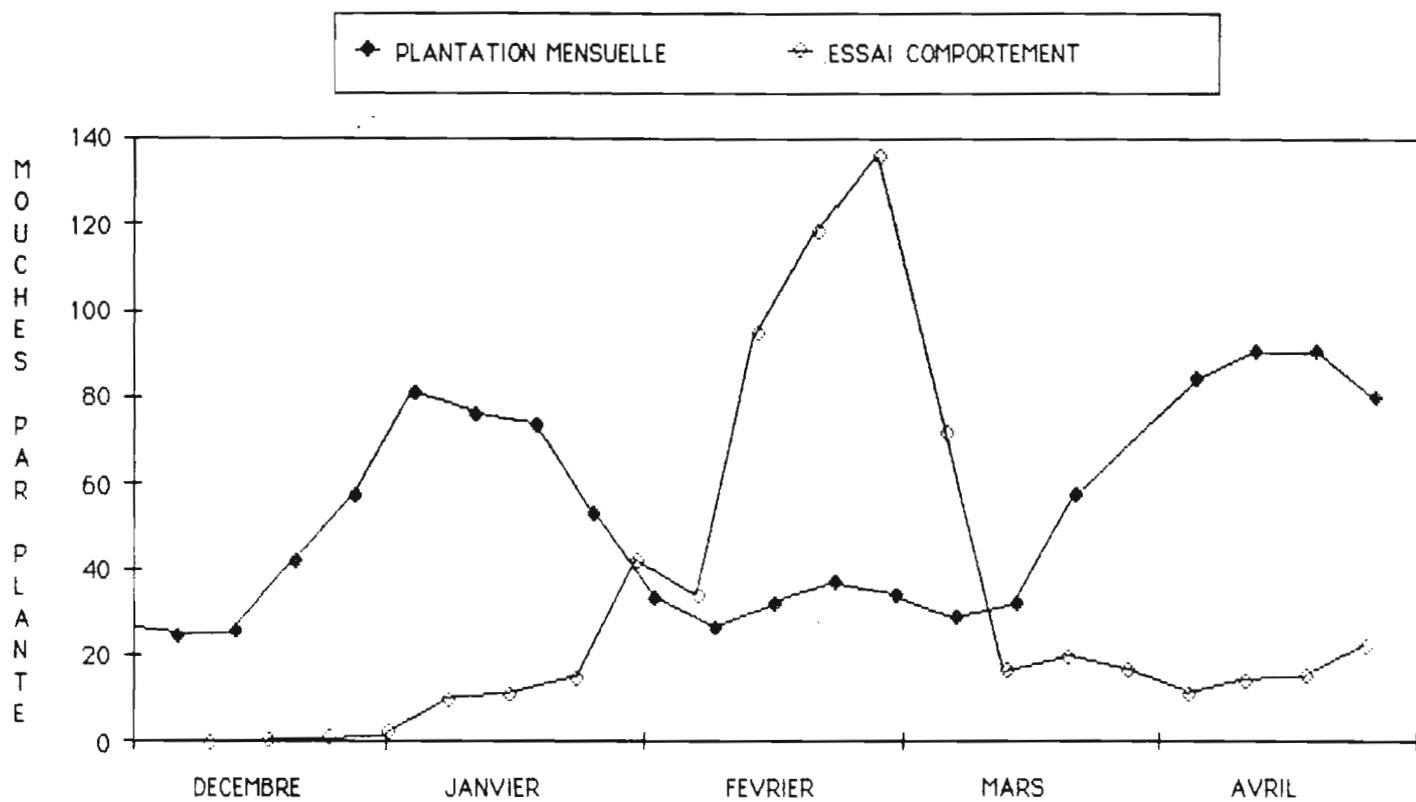


Figure 3.6. Nombre de mouches blanches par plante au cours du temps dans l'essai comportement et dans l'essai plantation mensuelle (plantes d'un âge de deux et trois mois).

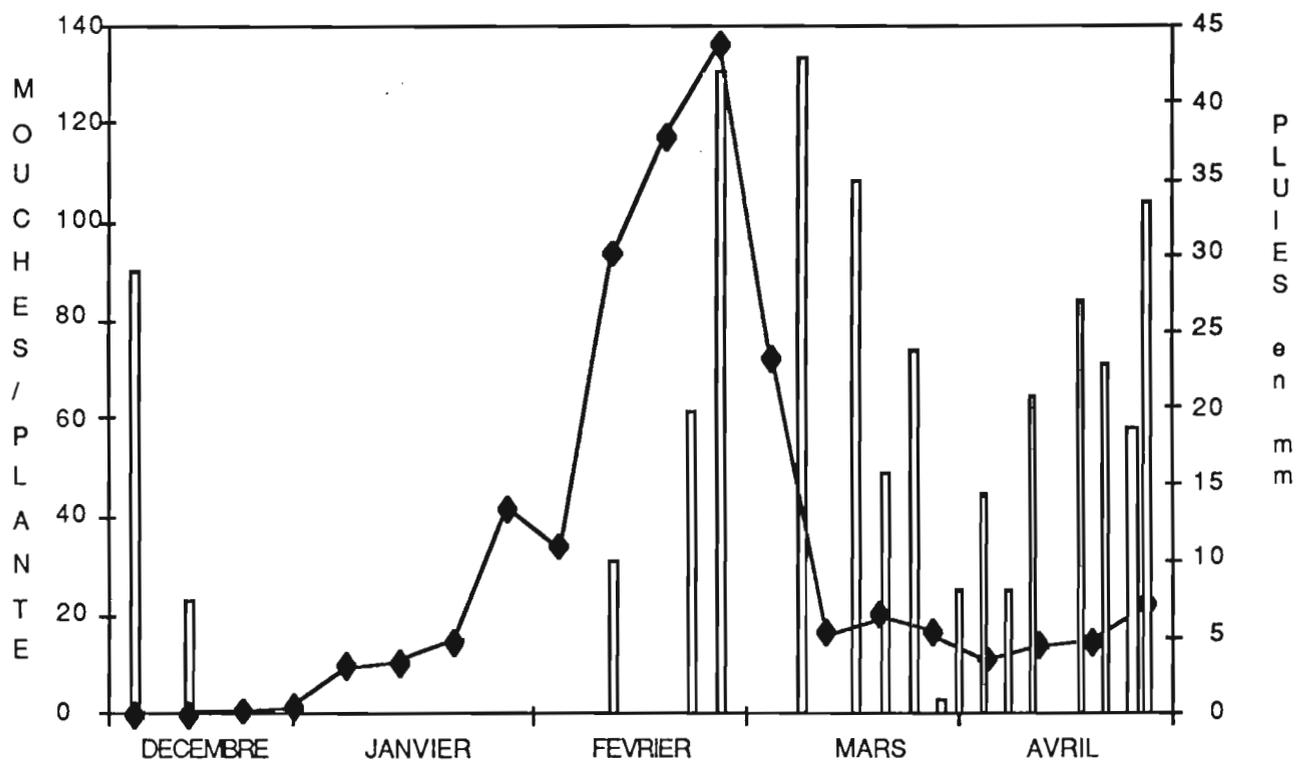


Figure 3.7. Nombre de mouches blanches par plante et quantité de pluie, en mm, au cours du temps.

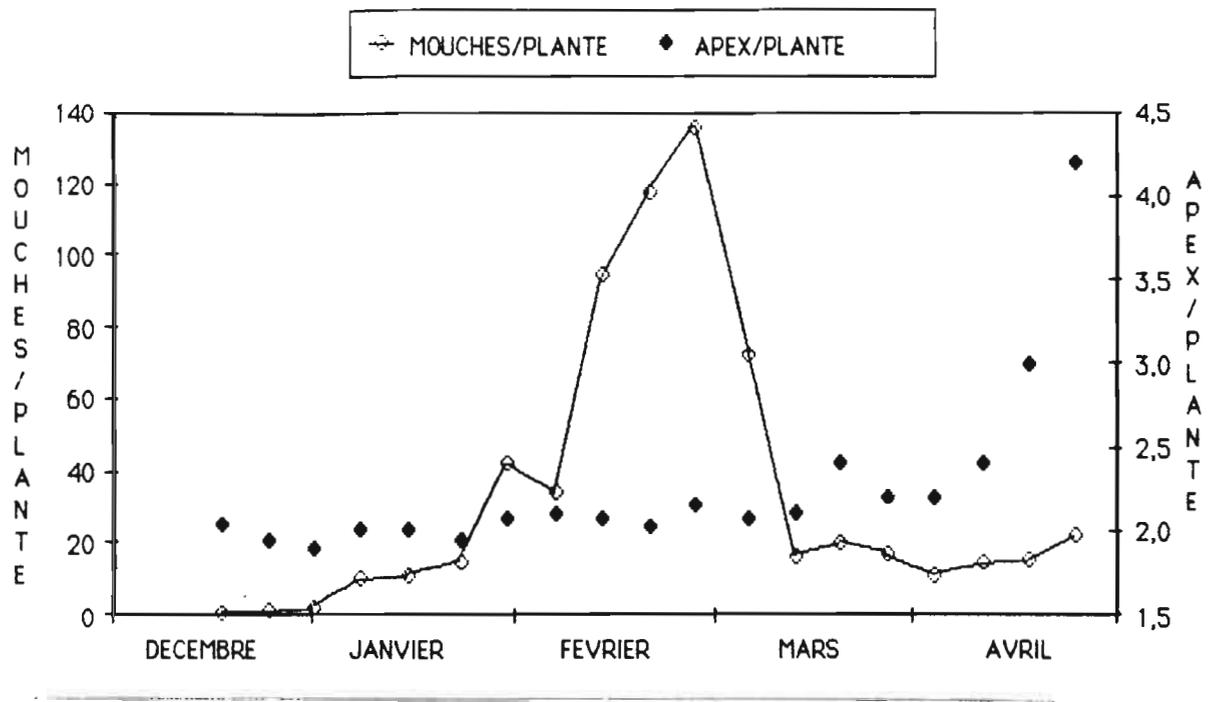


Figure 3.8.a. Nombre de mouches blanches par plante et nombre d'apex par plante au cours du temps (nombre de plantes : 490).

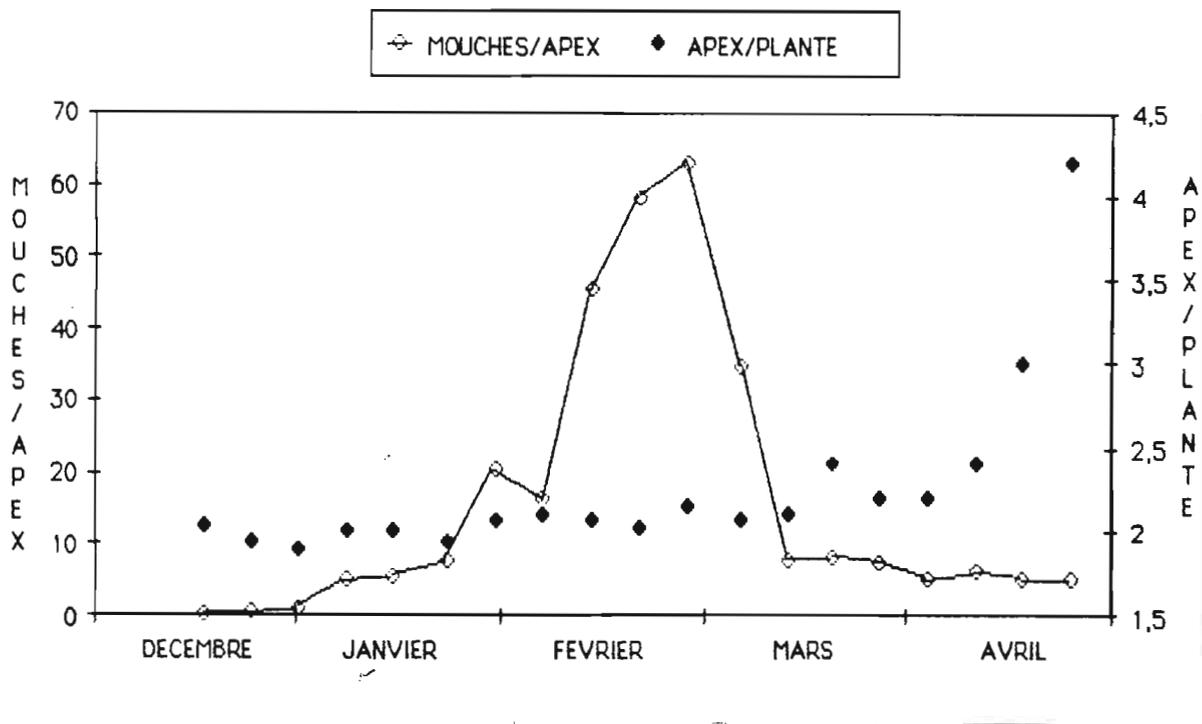


Figure 3.8.b. Nombre de mouches blanches par apex et nombre d'apex par plante au cours du temps (nombre de plantes : 490).

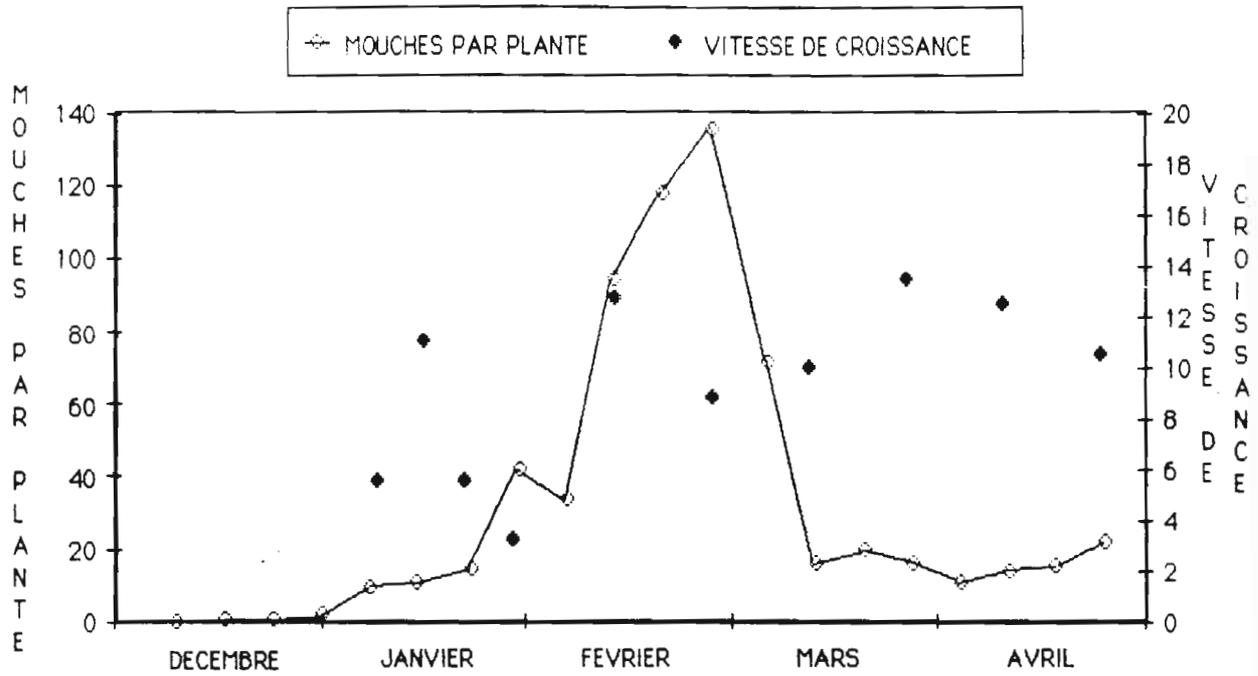


Figure 3.9.a. Nombre de mouches blanches par plante et vitesse de croissance des plantes, en cm, par semaine au cours du temps (nombre de plantes : 490).

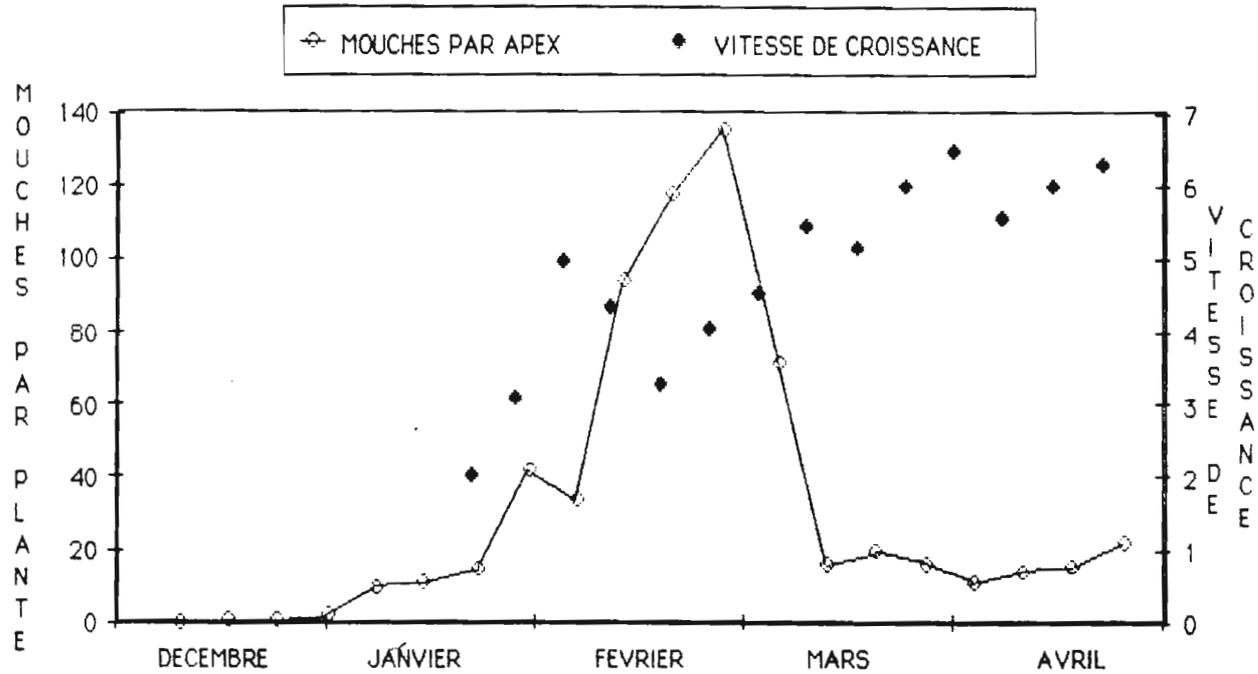


Figure 3.9.b. Nombre de mouches blanches par plante et vitesse de croissance des plantes en nombre de nouvelles feuilles par apex, par semaine, au cours du temps (nombre de plantes respectivement : 490 et 14).

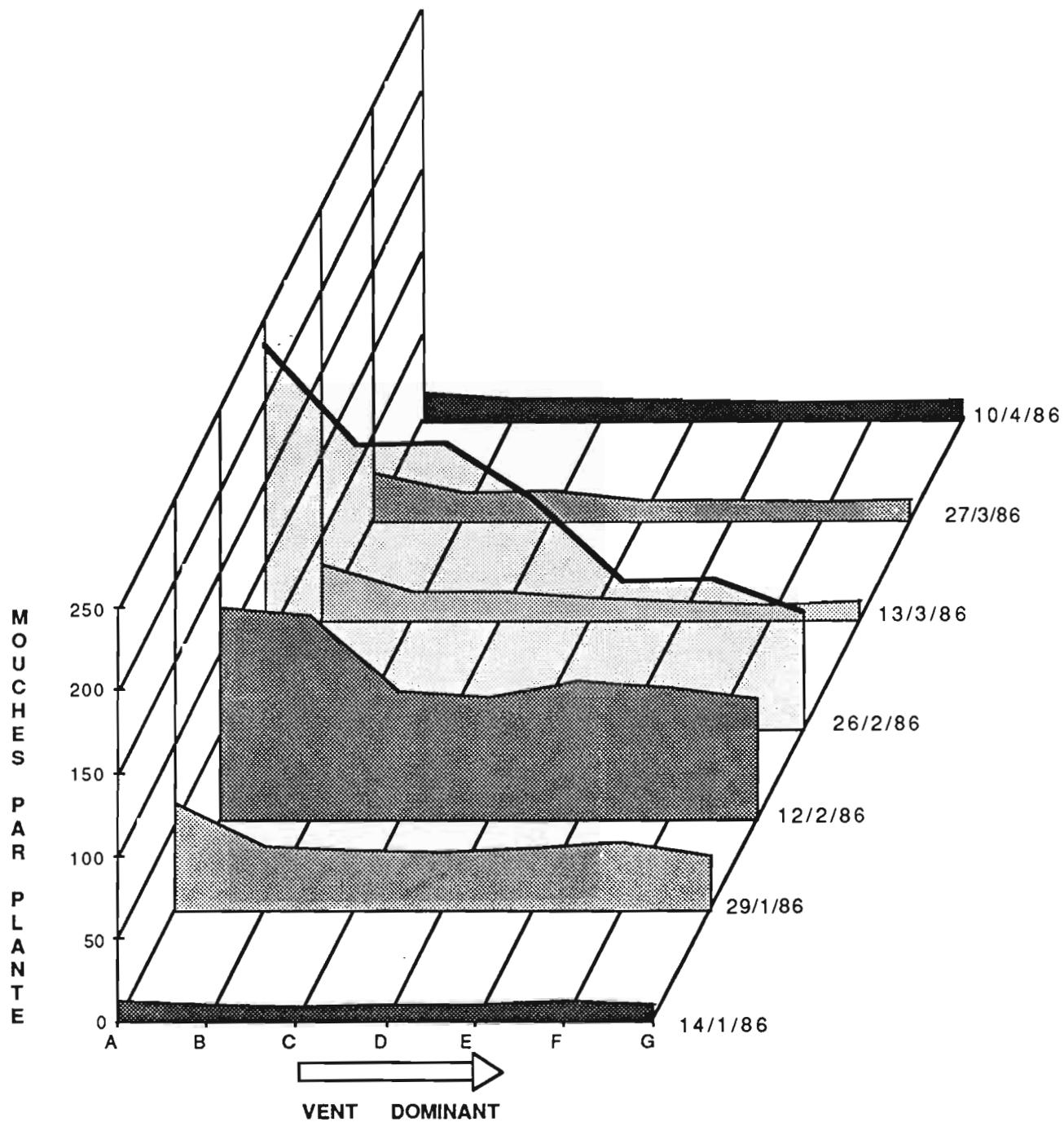


Figure 3.10. Gradient de mouches blanches par plante dans le champ de manioc dans la direction Sud-Ouest/Nord-Est au cours du temps (nombre de plantes : 70).

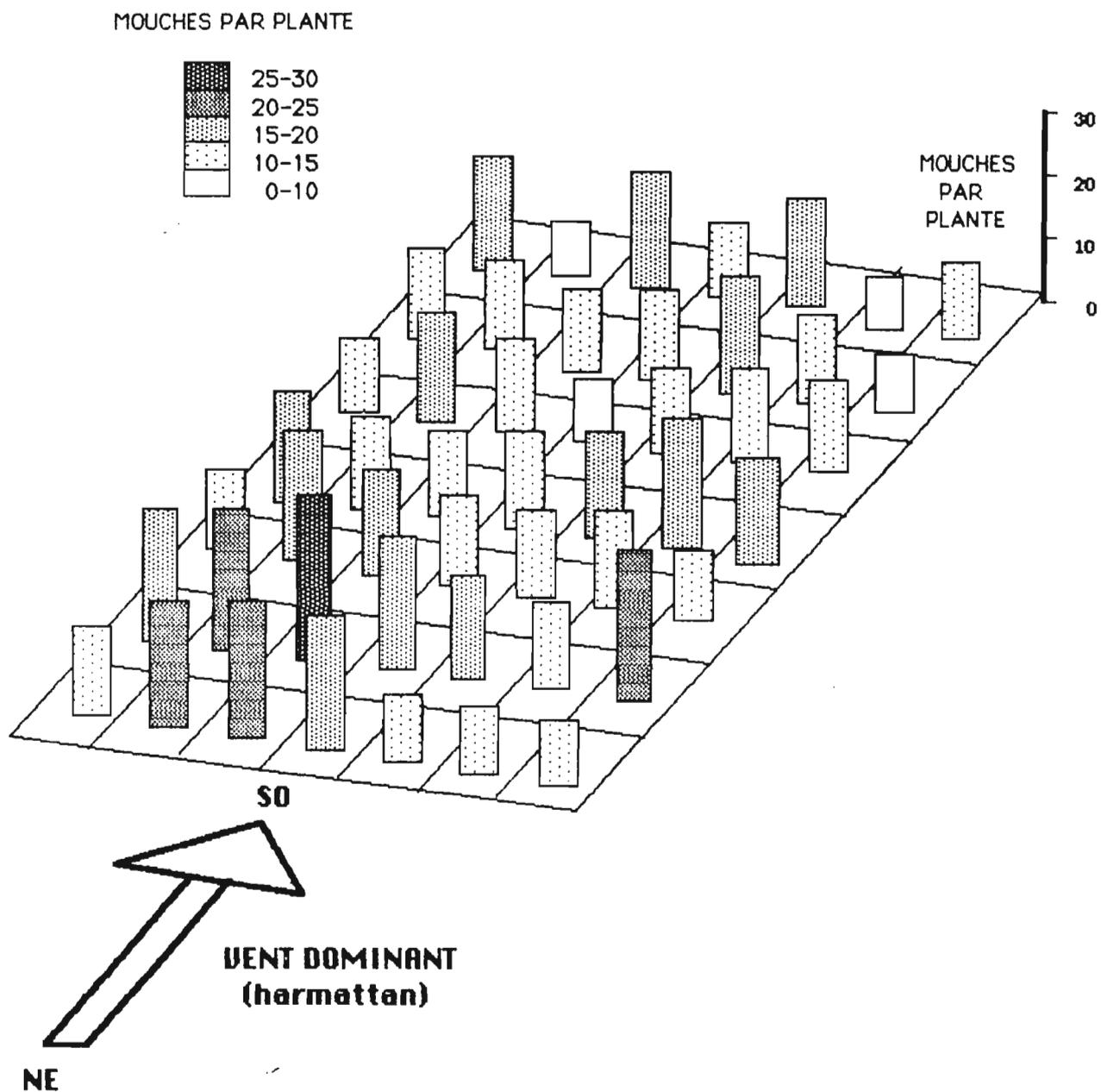


Figure 3.11.A. Gradient de mouches blanches par plante, par bloc, le 22 janvier (vent Nord-Est : harmattan) (nombre de plantes : 10).

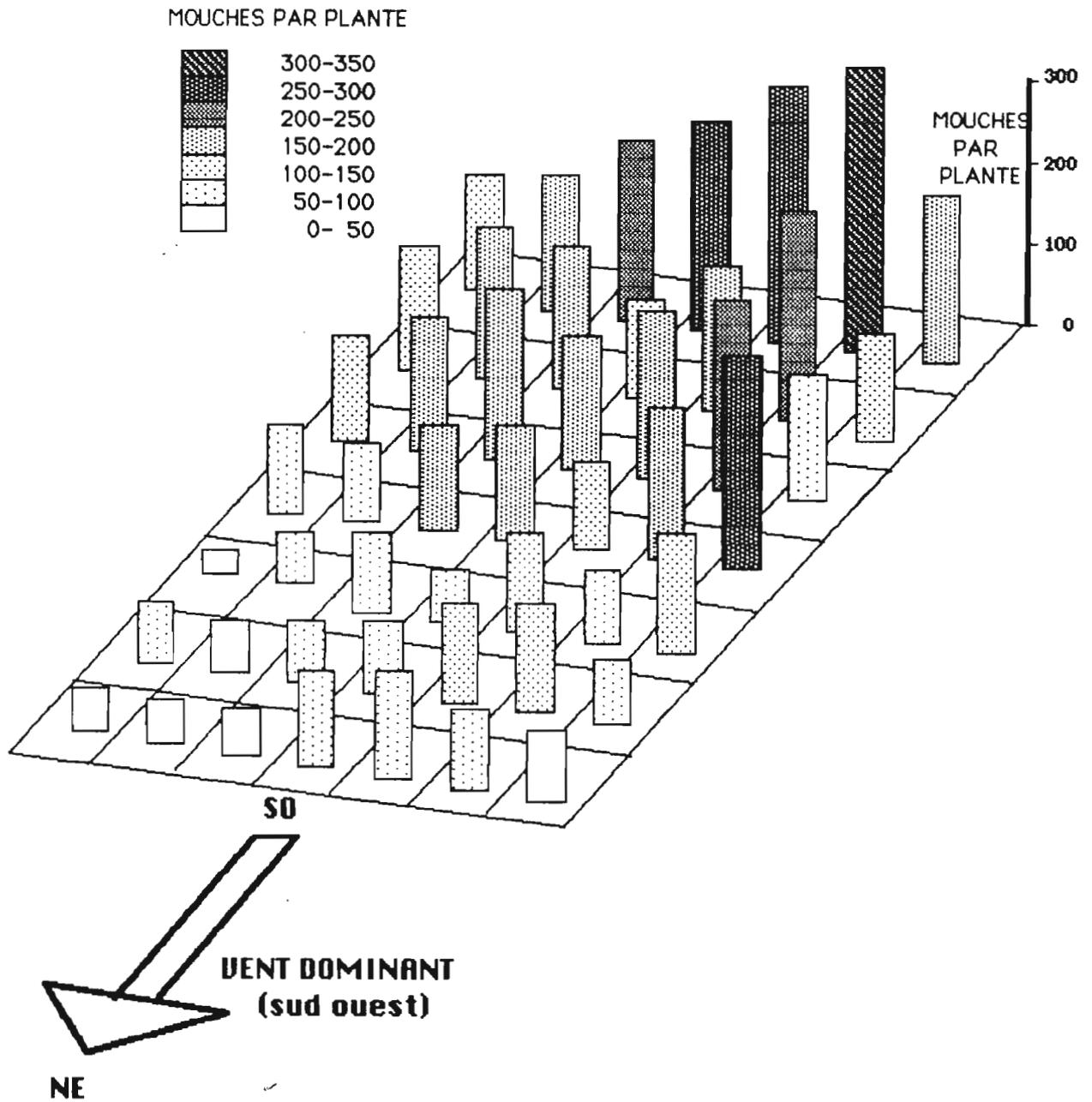


Figure 3.11.B. Gradient de mouches blanches par plante, par bloc, le 26 janvier (vent du Sud-Ouest) (nombre de plantes : 10).

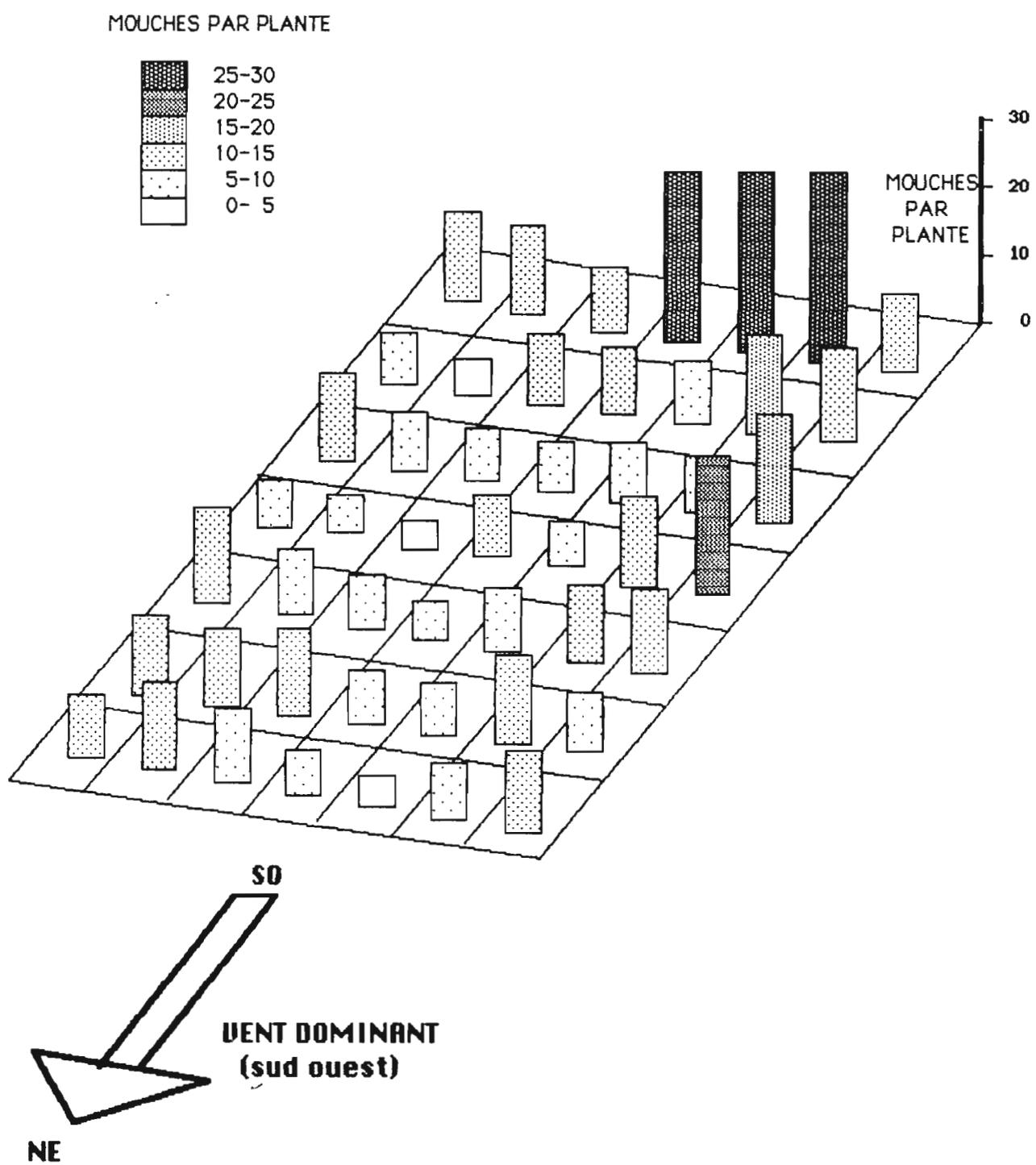


Figure 3.11.C. Gradient de mouches blanches par plante, par bloc, le 3 avril (vent du Sud-Ouest) (nombre de plantes : 10).

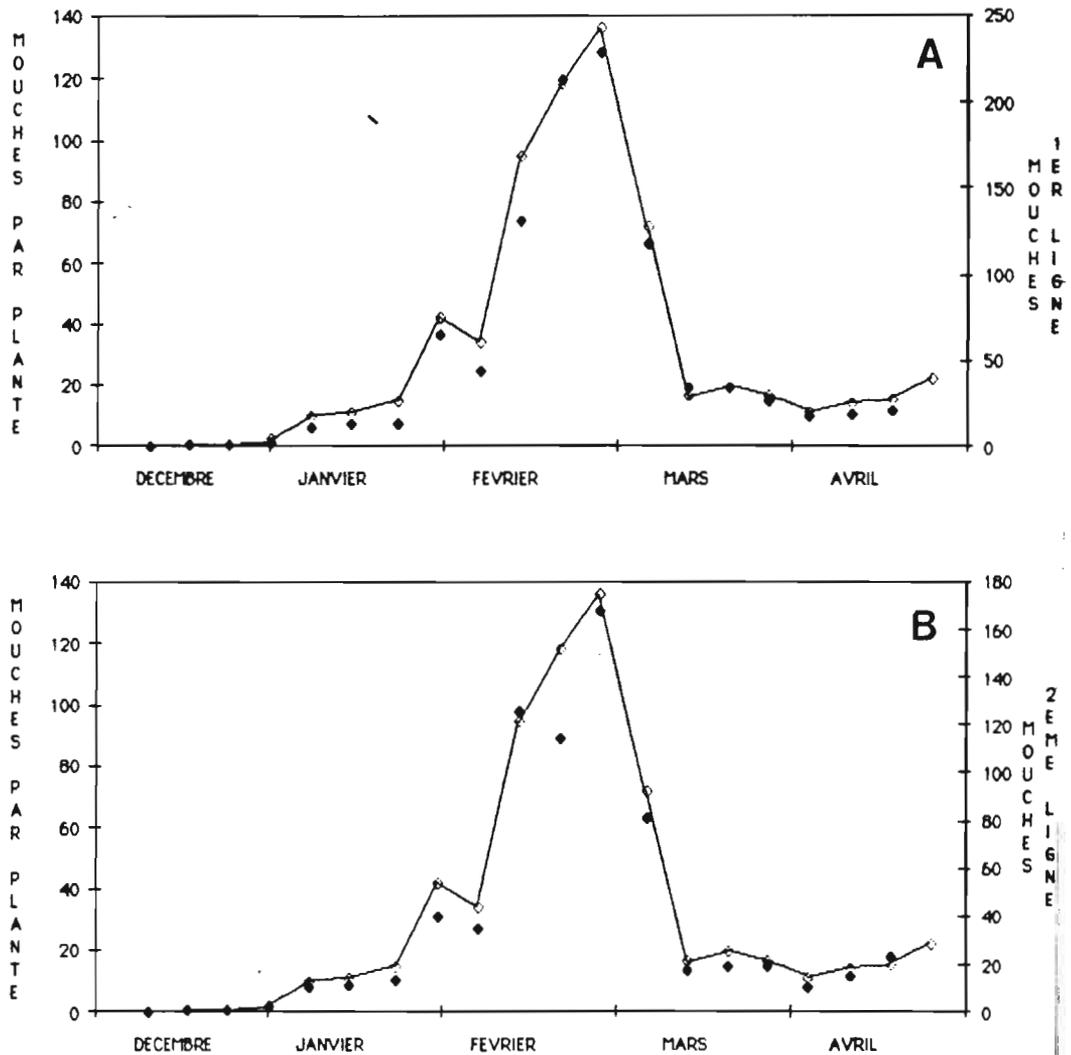


Figure 3.12. (A-G). Nombre de mouches blanches, moyen dans le champ, par plante et nombre de mouches blanches par plante, dans chaque ligne, (A-G) au cours du temps (nombre de plantes respectivement : 490 et 70).

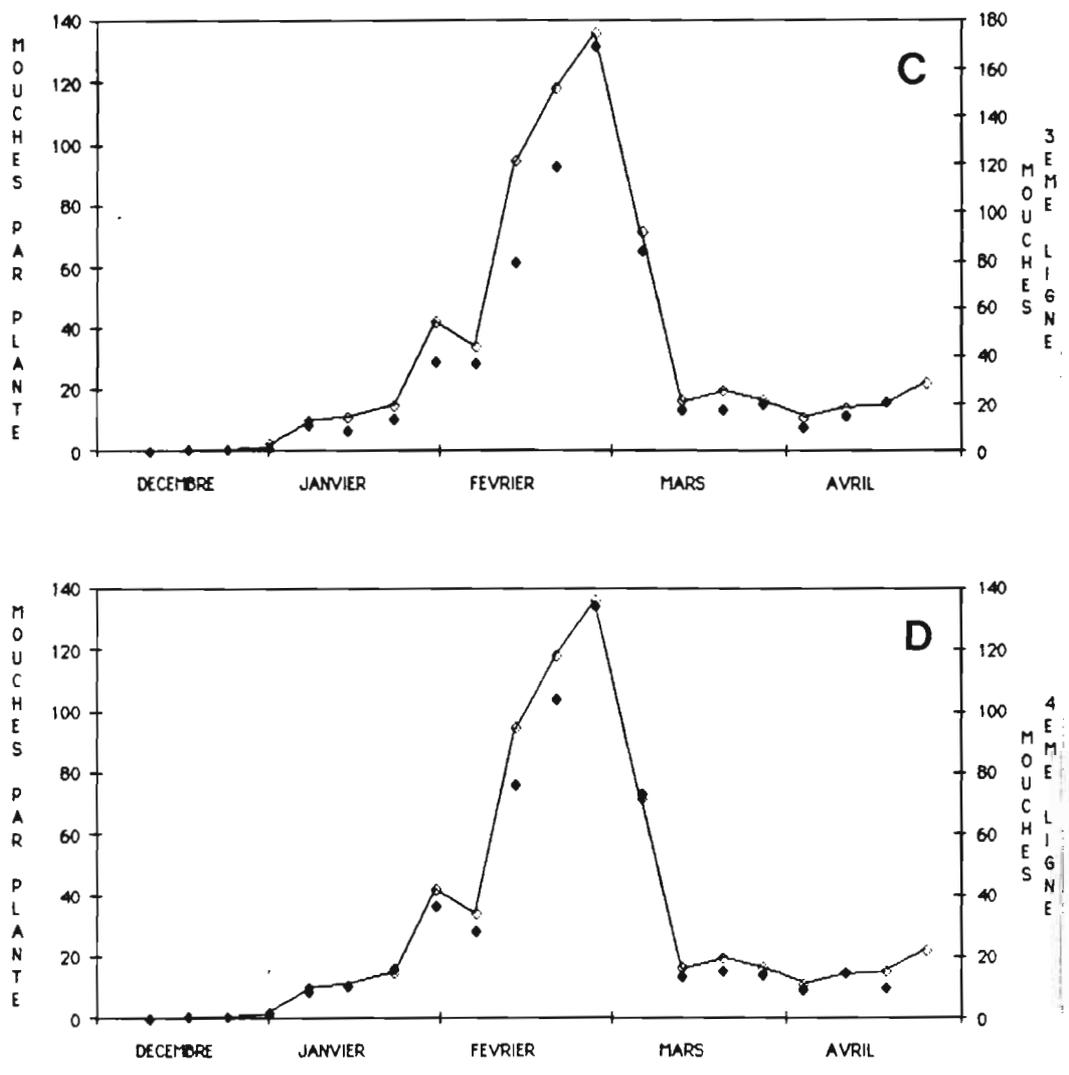


Figure 3.12. (A-G). Nombre de mouches blanches, moyen dans le champ, par plante et nombre de mouches blanches par plante, dans chaque ligne, (A-G) au cours du temps (nombre de plantes respectivement : 490 et 70).

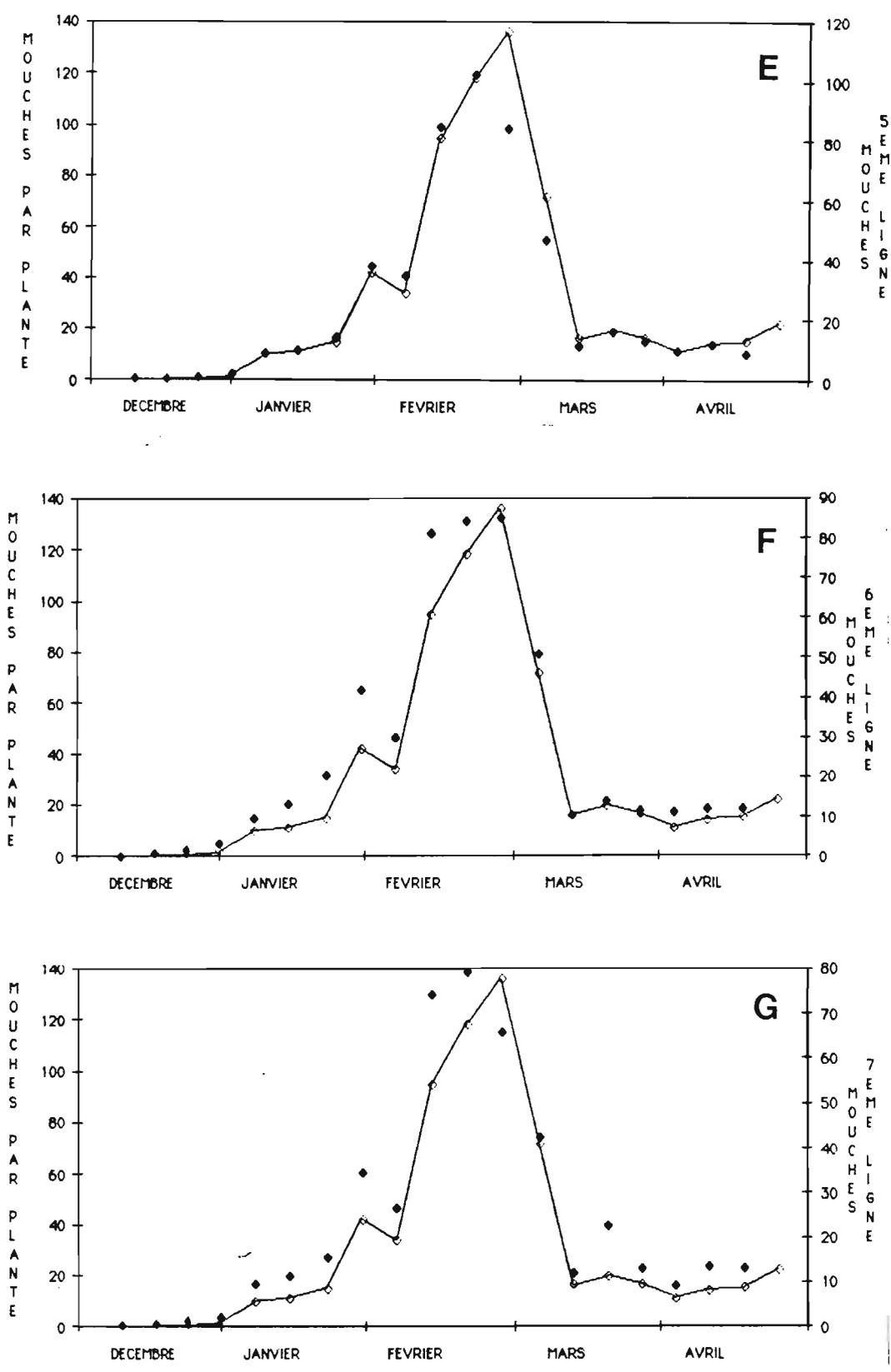


Figure 3.12. (A-G). Nombre de mouches blanches, moyen dans le champ, par plante et nombre de mouches blanches par plante, dans chaque ligne, (A-G) au cours du temps (nombre de plantes respectivement : 490 et 70).

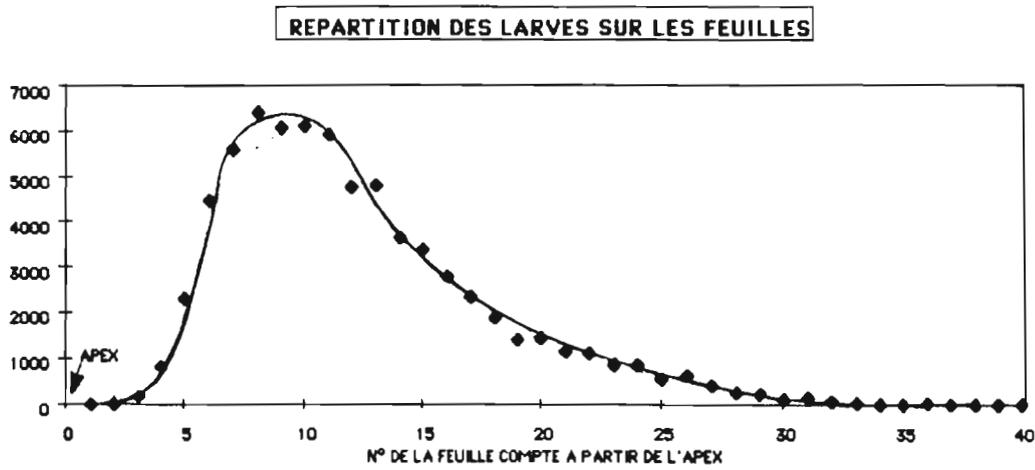


Figure 3.13. Répartition des larves de mouches blanches sur les feuilles successives des plantes de manioc (comptées sur 14 tiges de 14 plantes), au cours du temps (nombre d'individus : 75).

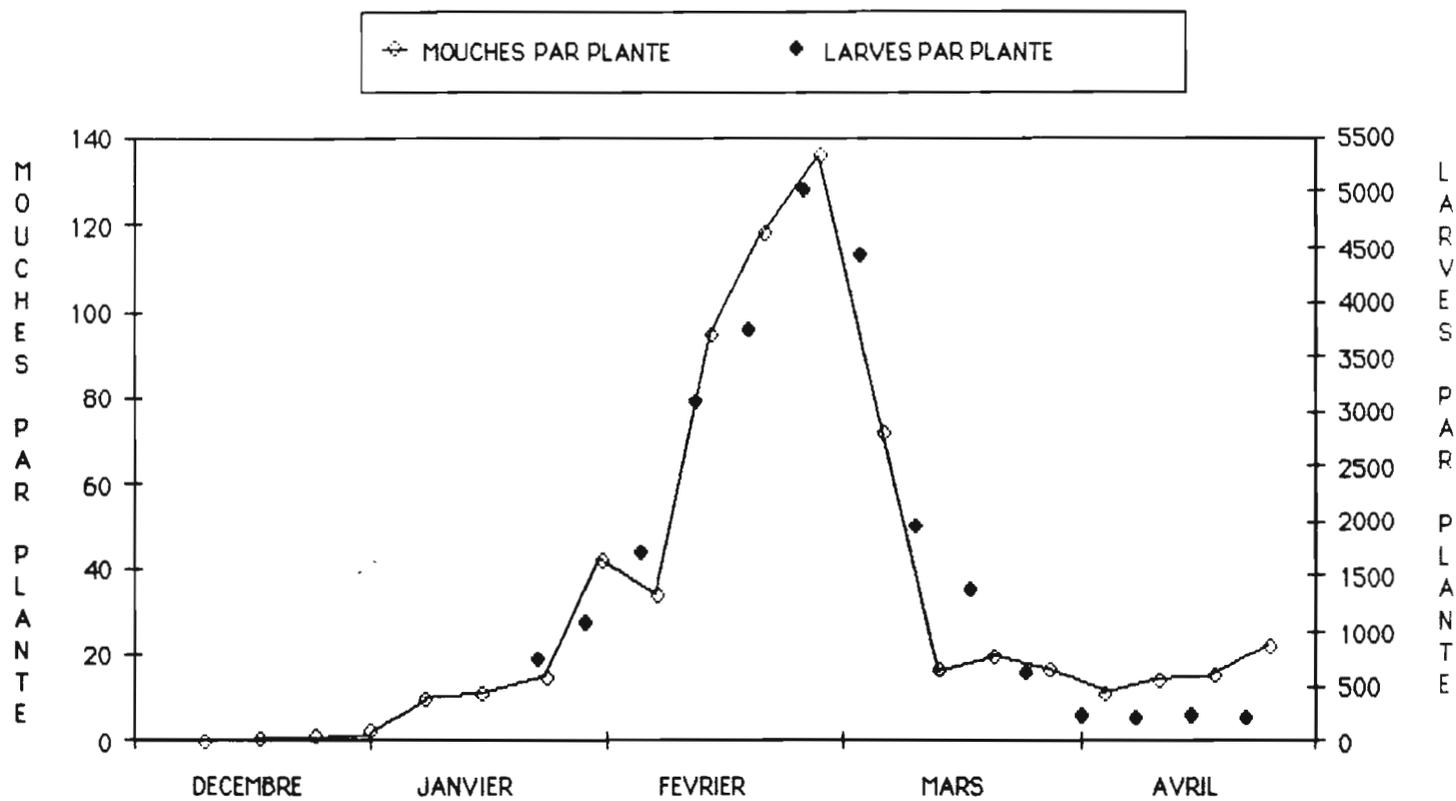


Figure 3.14. Nombre d'adultes de mouches blanches par plante et de larves par plante au cours du temps (nombre de plantes respectivement : 490 et 14).

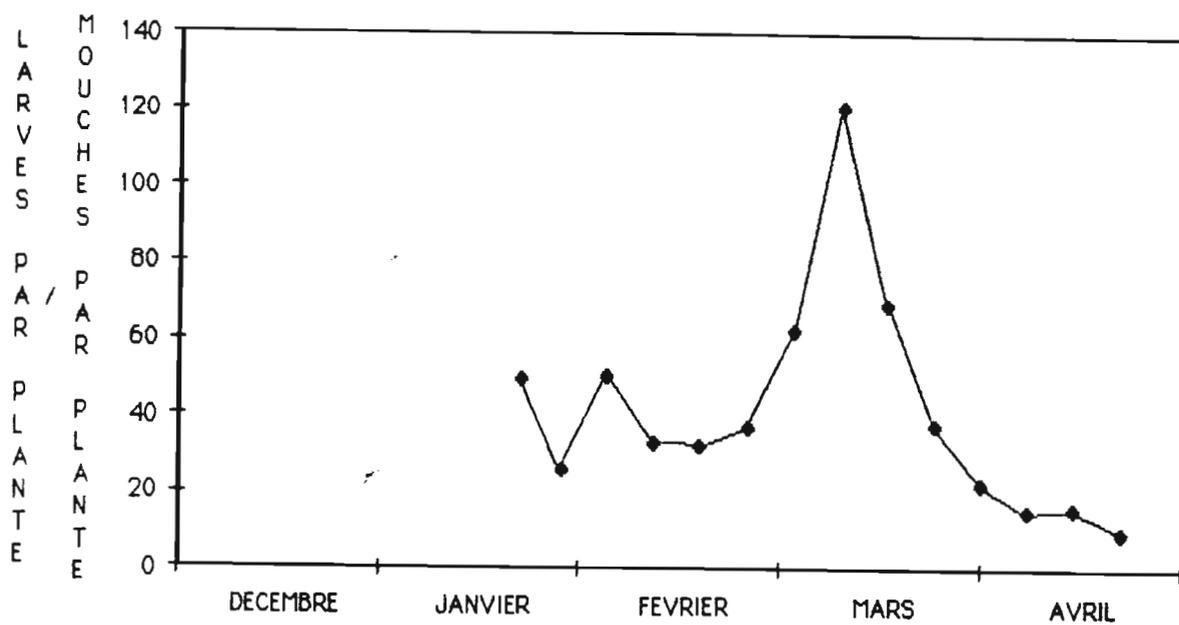


Figure 3.15. Nombre de larves de mouches blanches par plante, divisé par le nombre d'adultes par plante au cours du temps.

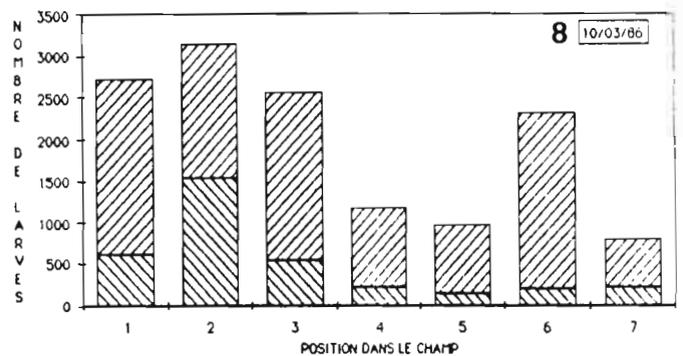
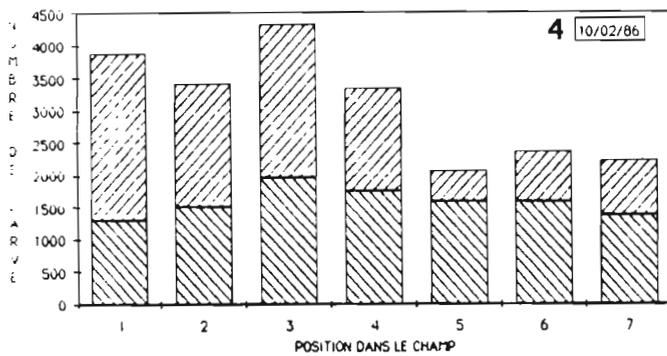
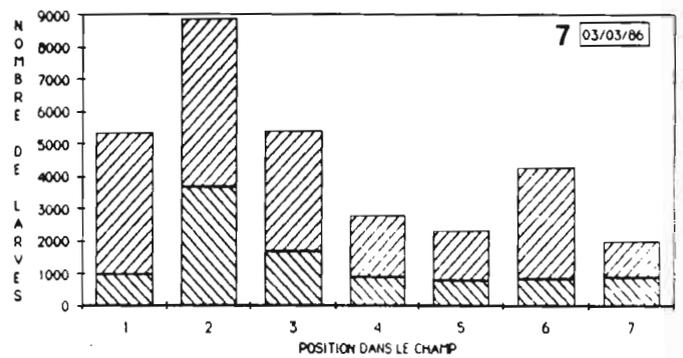
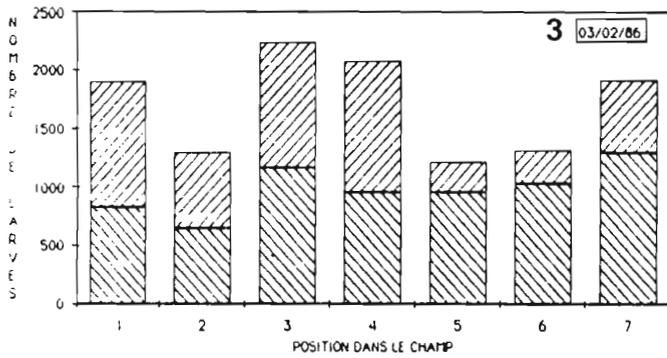
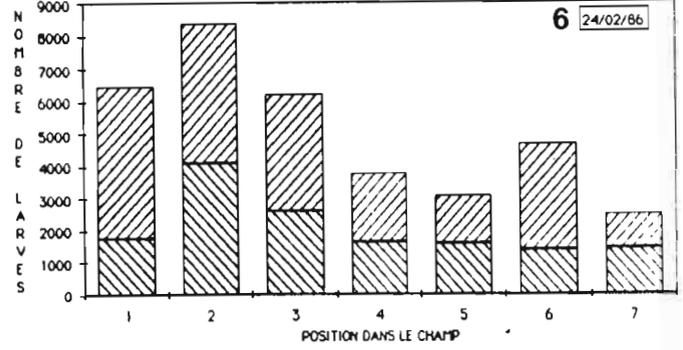
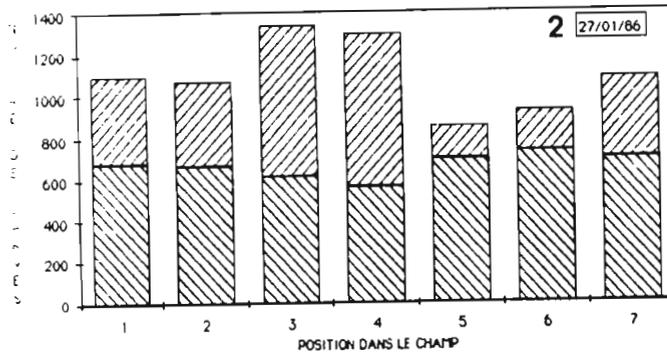
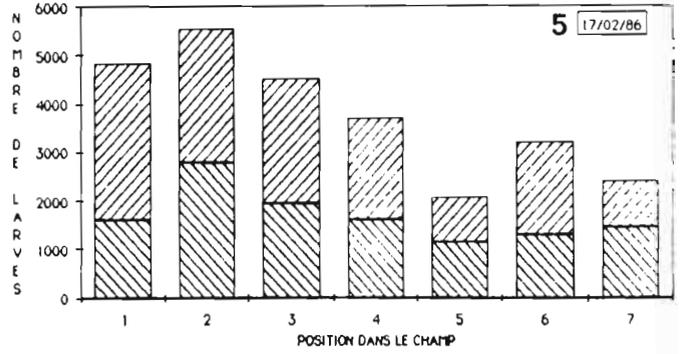
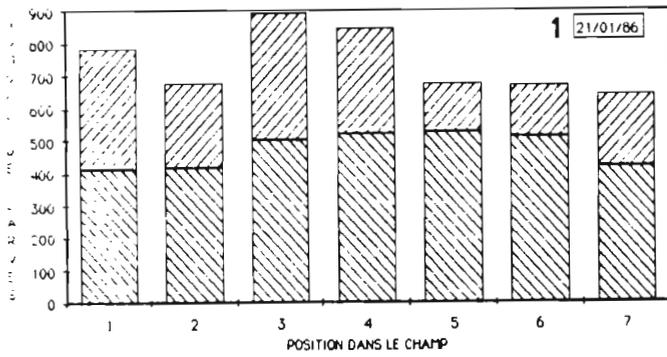


Figure 3.16 (1-14). Nombre de larves de mouches blanches par plante selon leur position dans le champ à des dates successives (1-14) \\\\ larves sur plantes n° 1-7, /// larves sur plantes n° 8-14.

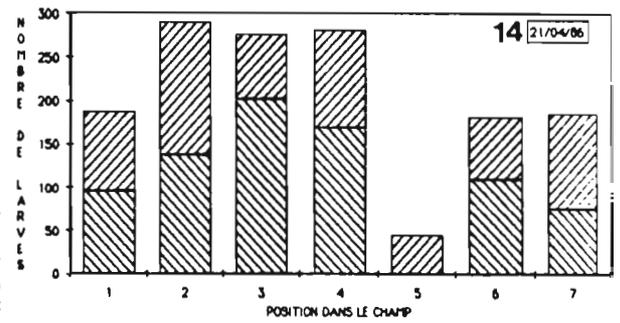
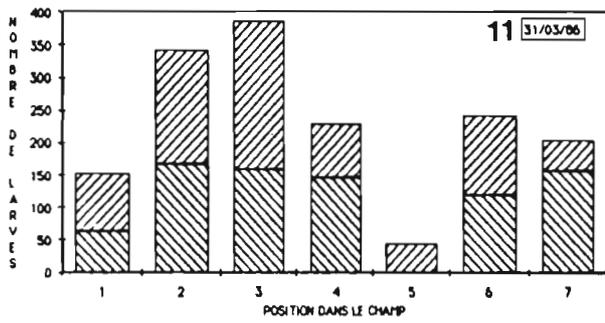
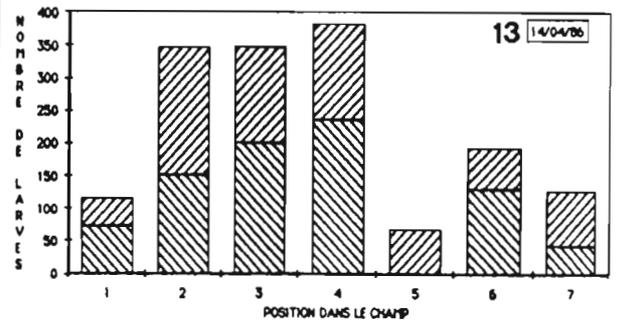
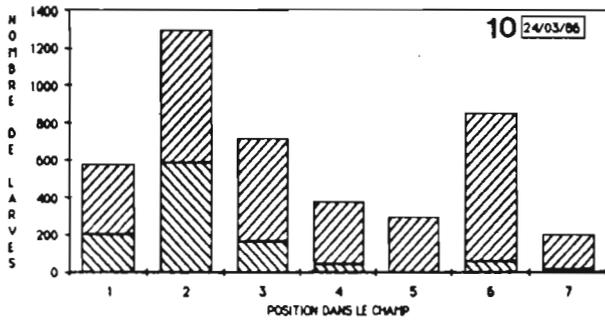
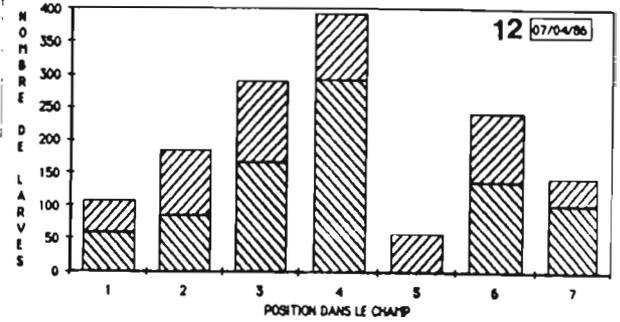
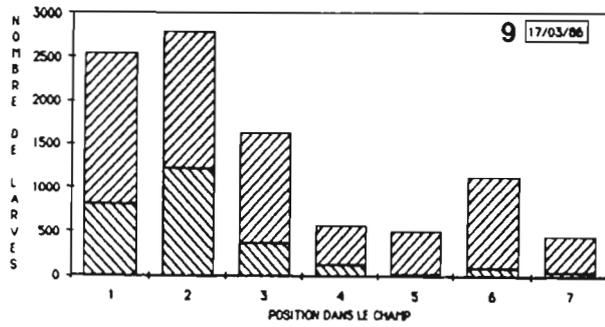


Figure 3.16 (1-14). Nombre de larves de mouches blanches par plante selon leur position dans le champ à des dates successives (1-14) \\\ larves sur plantes n° 1-7, \\\ larves sur plantes n° 8-14.

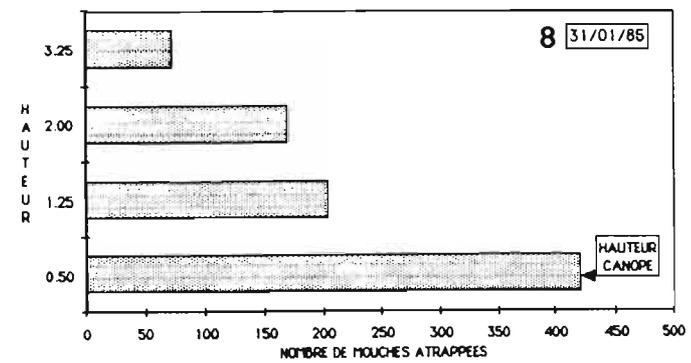
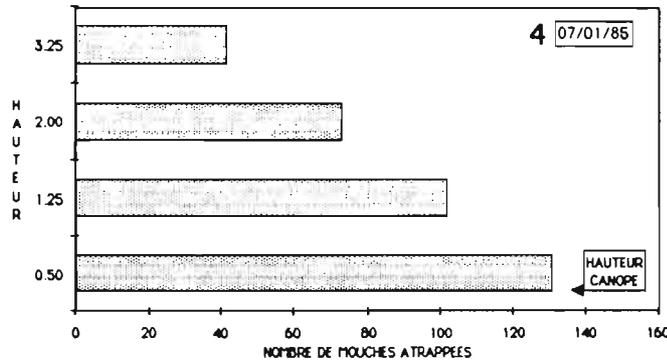
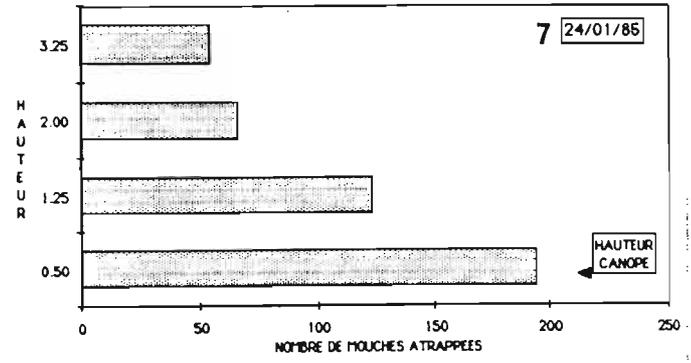
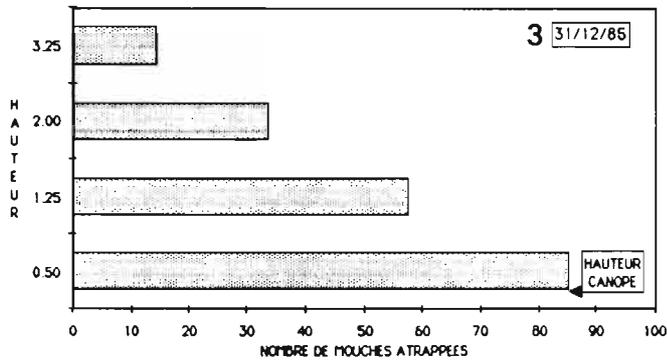
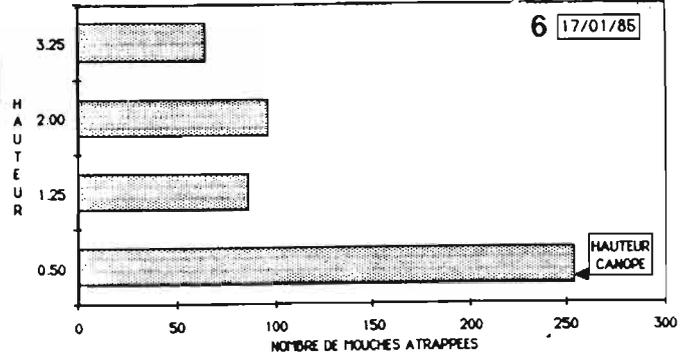
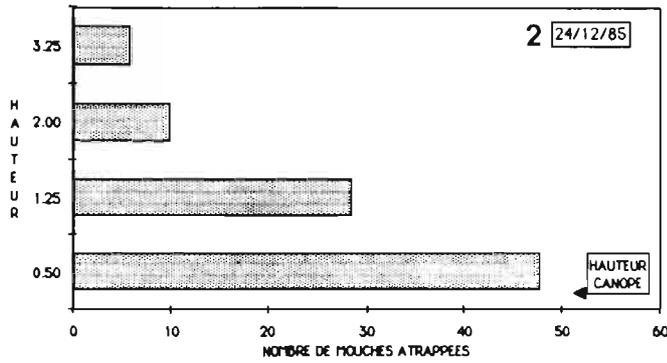
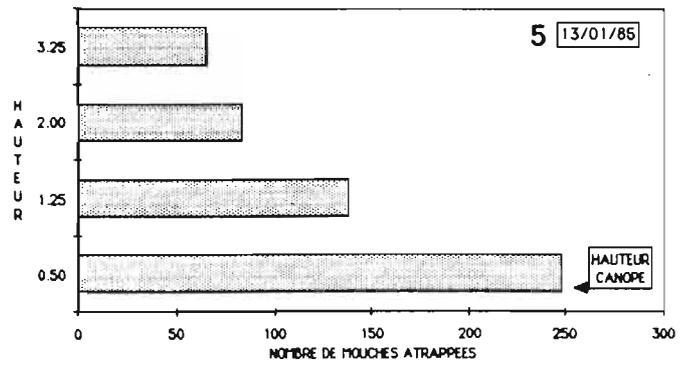
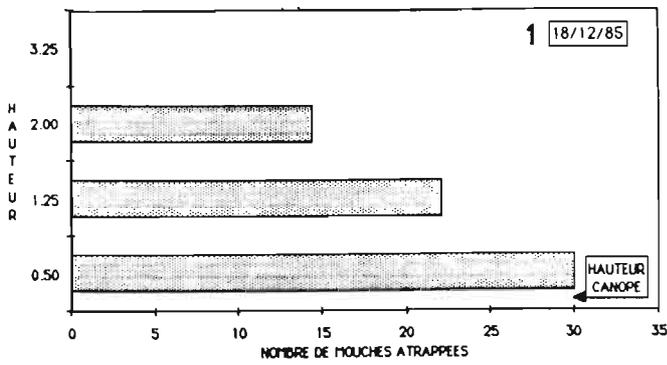


Figure 3.17 (1-20). Gradient vertical de mouches blanches attrapées, par semaine, sur 18 cadres de pièges à glu à des hauteurs différentes (0,50 m, 1,25 m, 2,00 m et 3,25 m) à des dates successives (1-20).

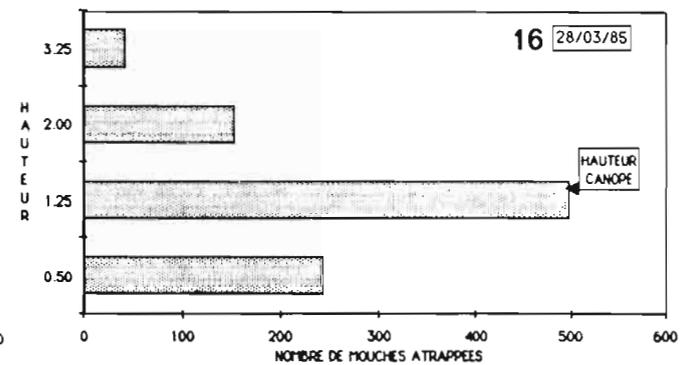
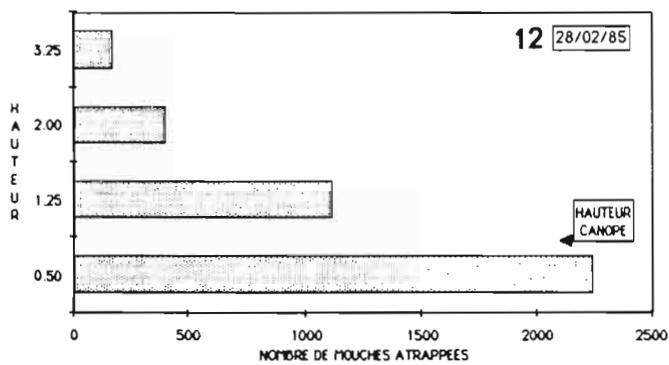
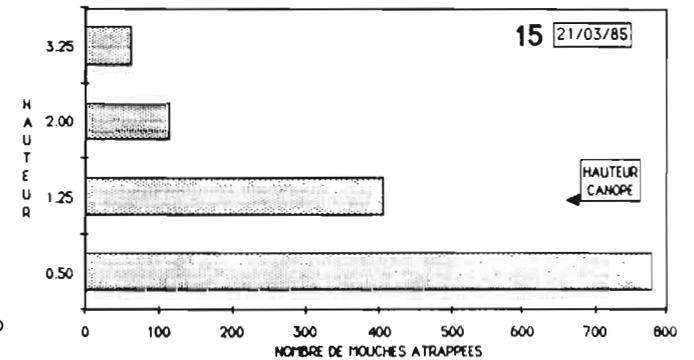
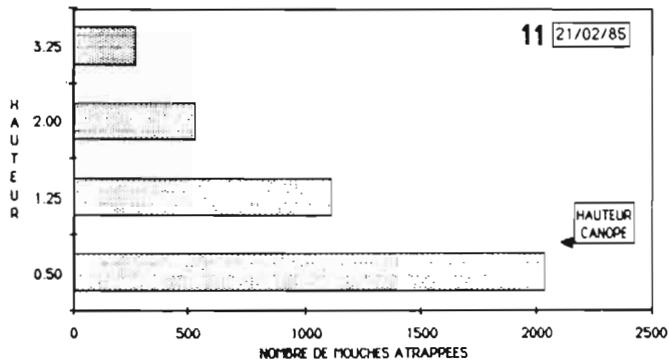
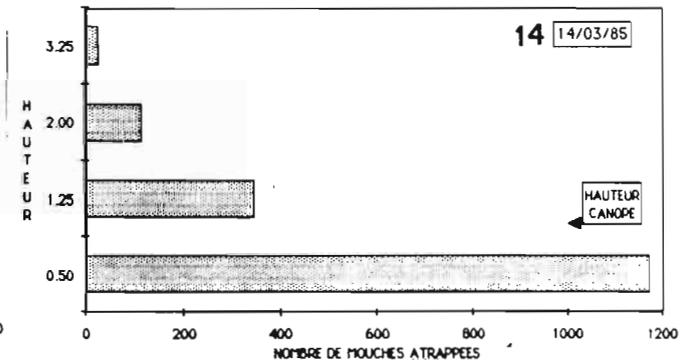
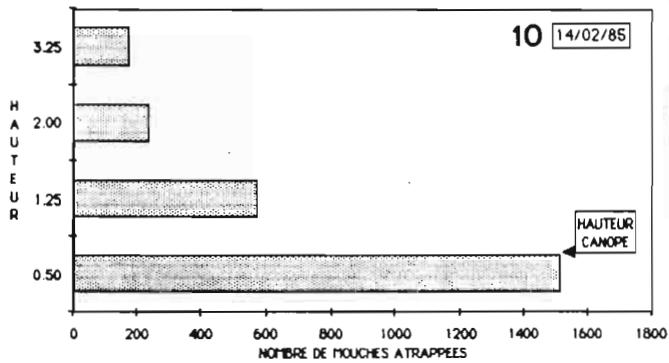
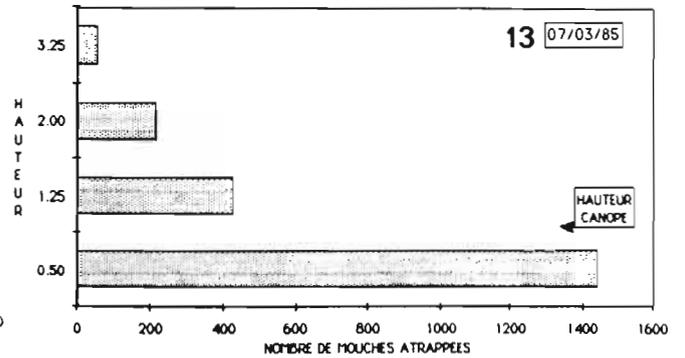
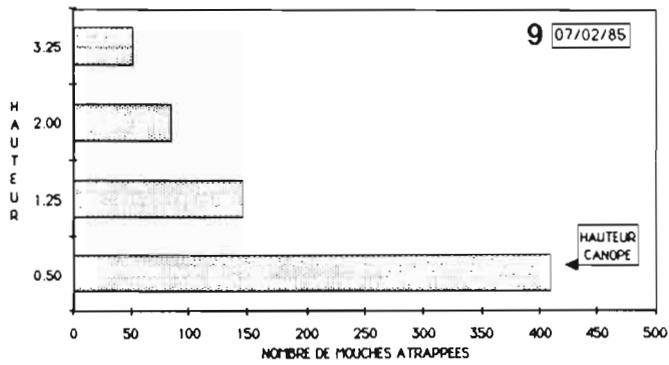


Figure 3.17 (1-20). Gradient vertical de mouches blanches attrapées, par semaine, sur 18 cadres de pièges à glu à des hauteurs différentes (0,50 m, 1,25 m, 2,00 m et 3,25 m) à des dates successives (1-20).

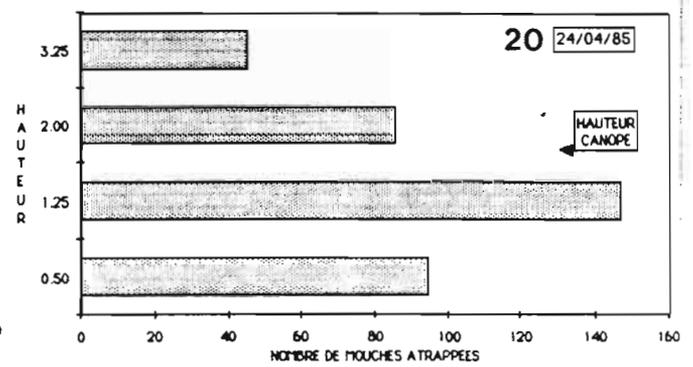
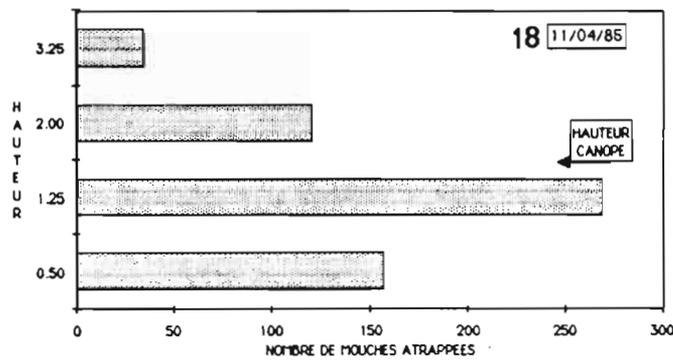
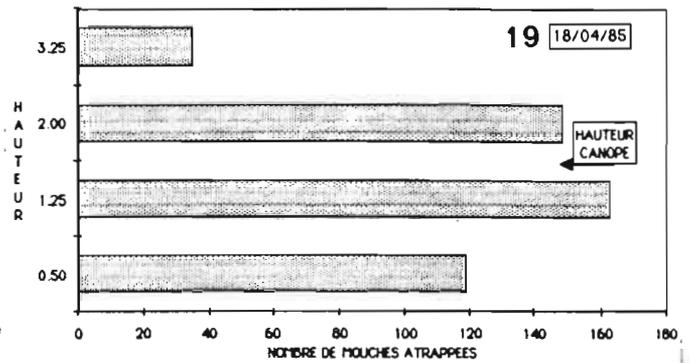
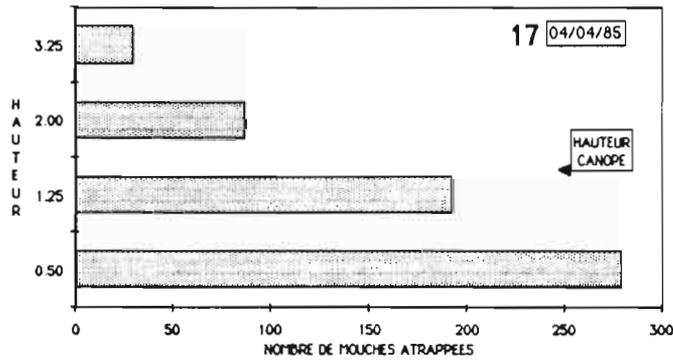
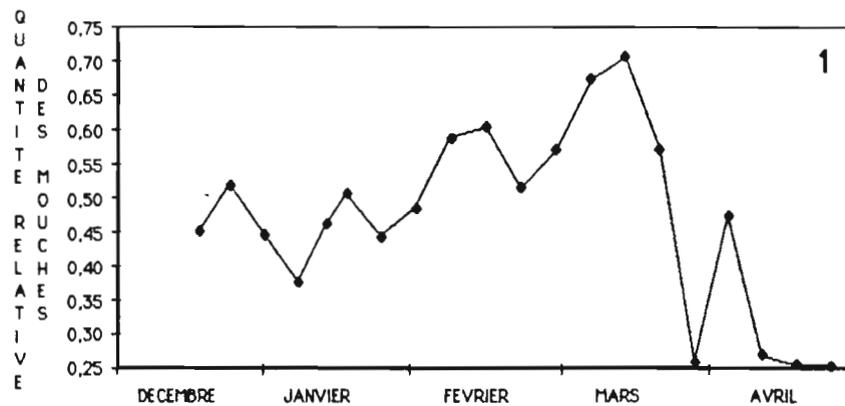
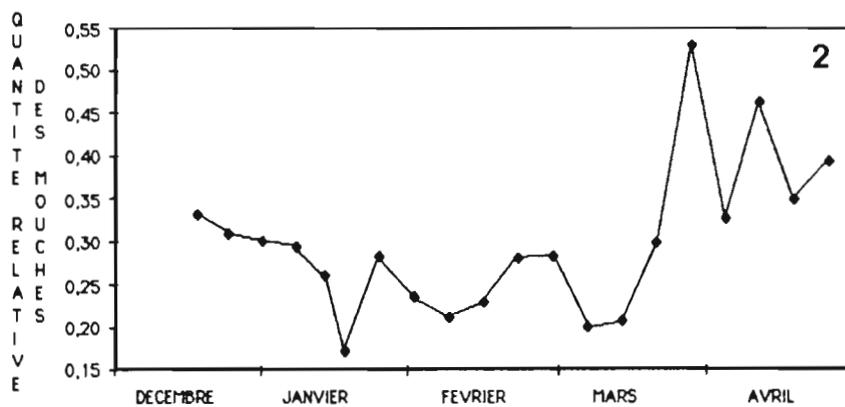
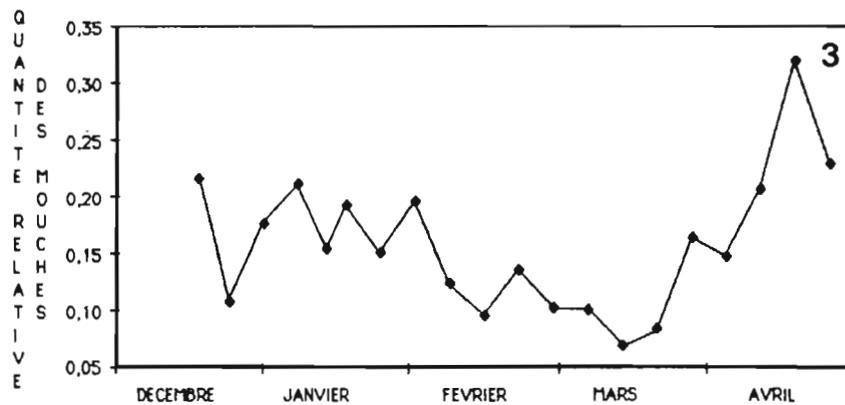
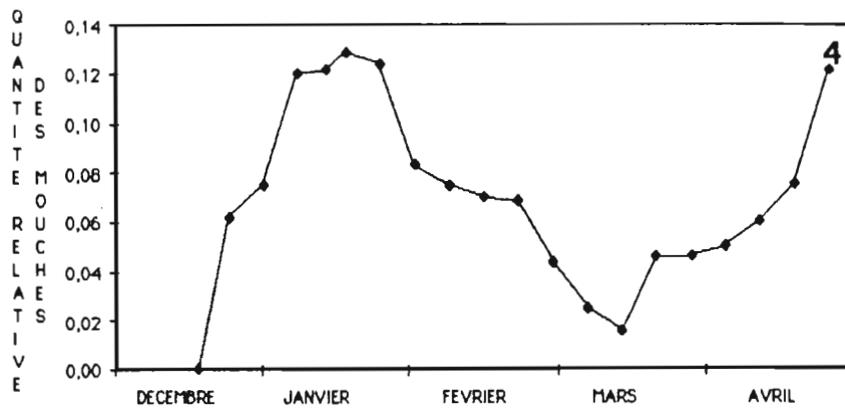


Figure 3.17 (1-20). Gradient vertical de mouches blanches attrapées, par semaine, sur 18 cadres de pièges à glu à des hauteurs différentes (0,50 m, 1,25 m, 2,00 m et 3,25 m) à des dates successives (1-20).



3.18 (1-4). Nombre de mouches blanches attrapées sur 18 cadres de pièges à glu sur une hauteur de 0,50 m (1), 1,25 m (2), 2,00 m (3) et 3,25 m (4) divisé par le nombre total de mouches blanches piégées sur 72 cadres (quantité relative) au cours du temps.

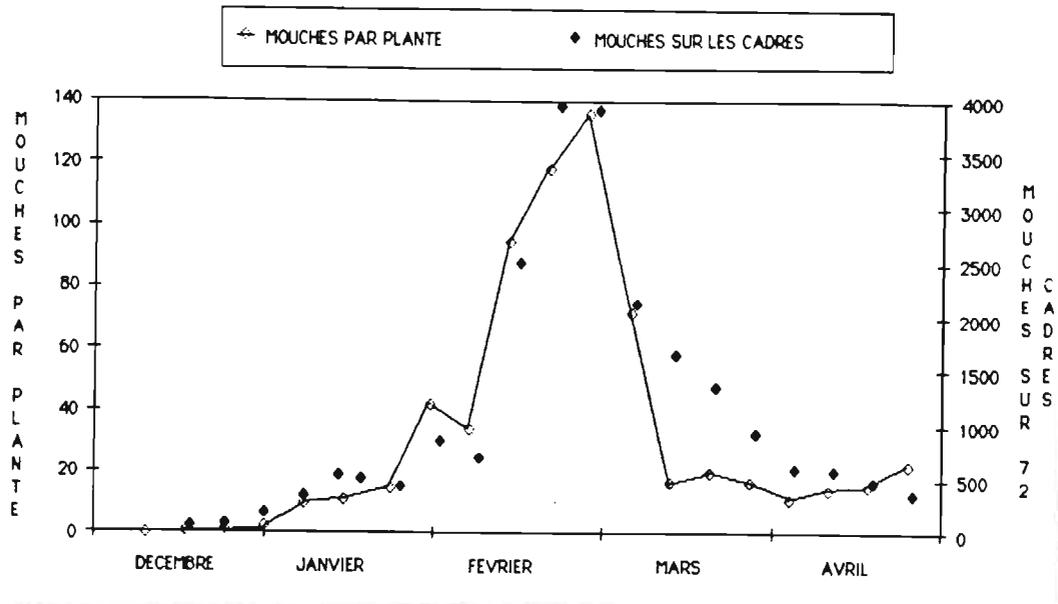


Figure 3.19. Nombre de mouches blanches par plante et nombre de mouches blanches piégées sur 72 cadres de pièges à glu, au cours du temps.

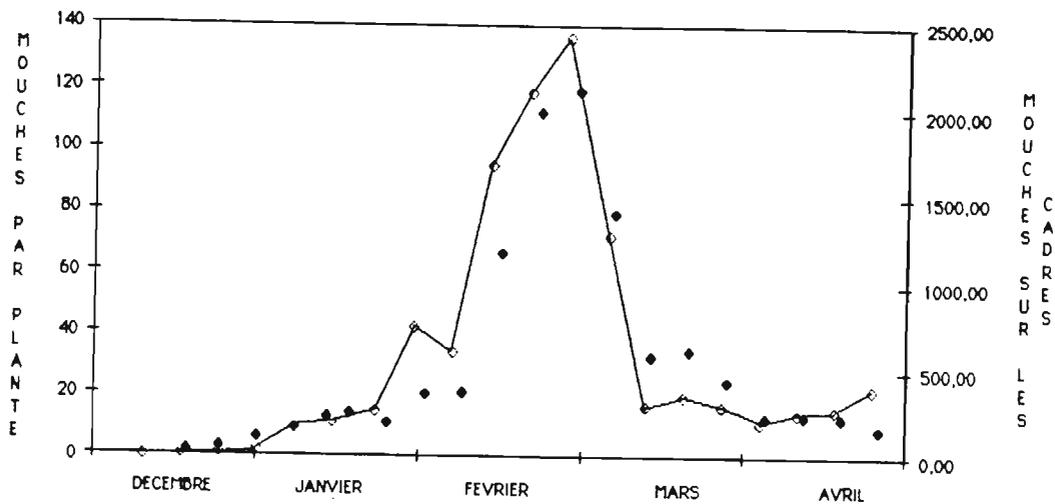


Figure 3.20. Nombre de mouches blanches par plante et nombre de mouches blanches piégées sur 36 cadres de pièges à glu dans le champ au cours du temps.

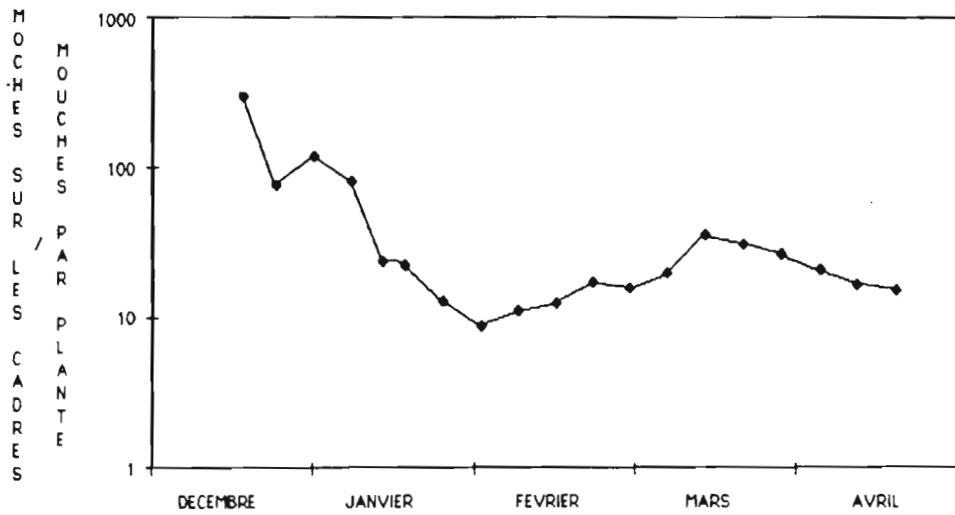


Figure 3.21. Nombre de mouches blanches piégées sur 72 cadres de pièges à glu divisé par le nombre de mouches blanches par plante (échelle logarithmique) au cours du temps.

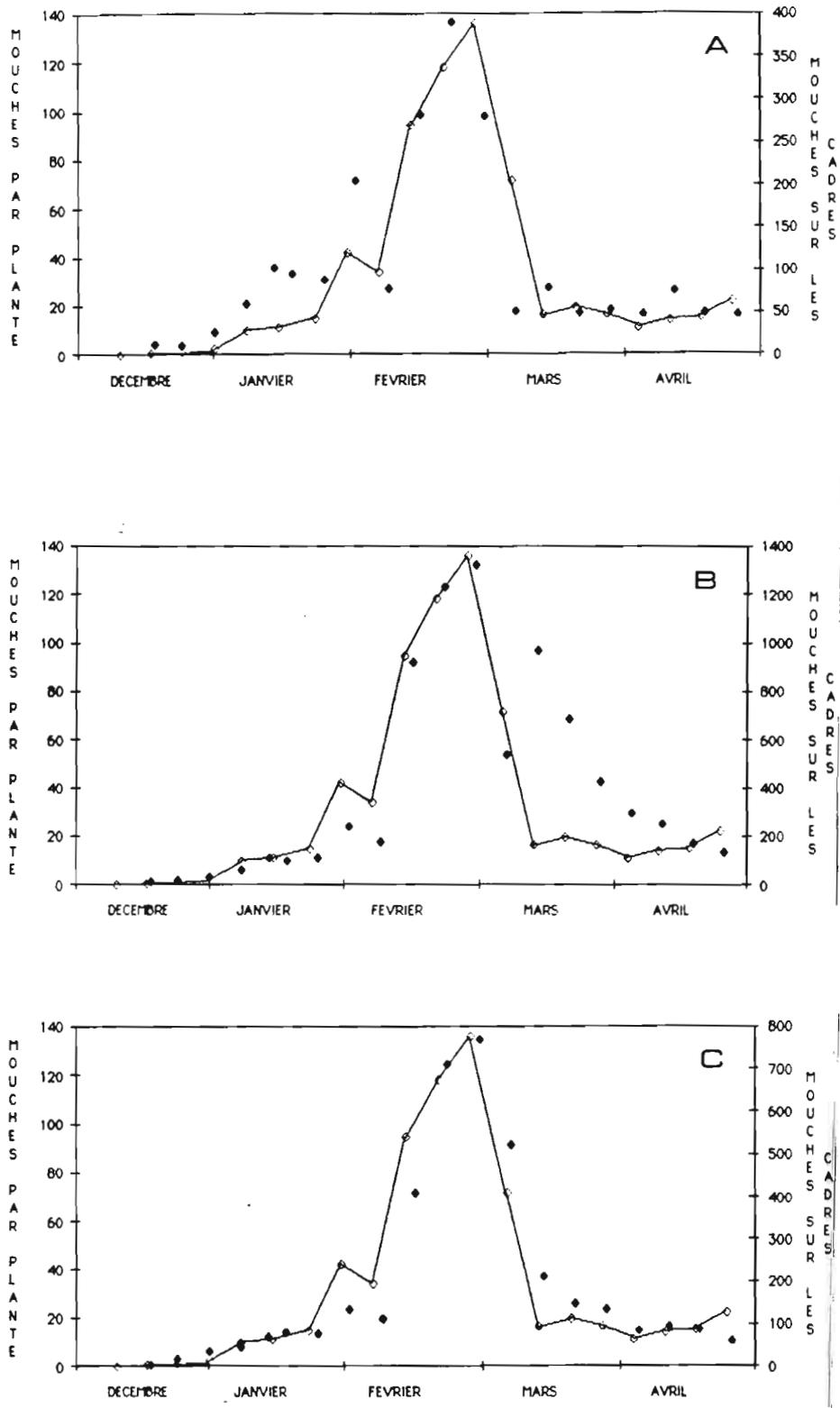


Figure 3.22 (A-F). Nombre de mouches blanches par plante et nombre de mouches blanches piégées sur 12 cadres de pièges à glu à chaque position dans le champ (A-F) au cours du temps.

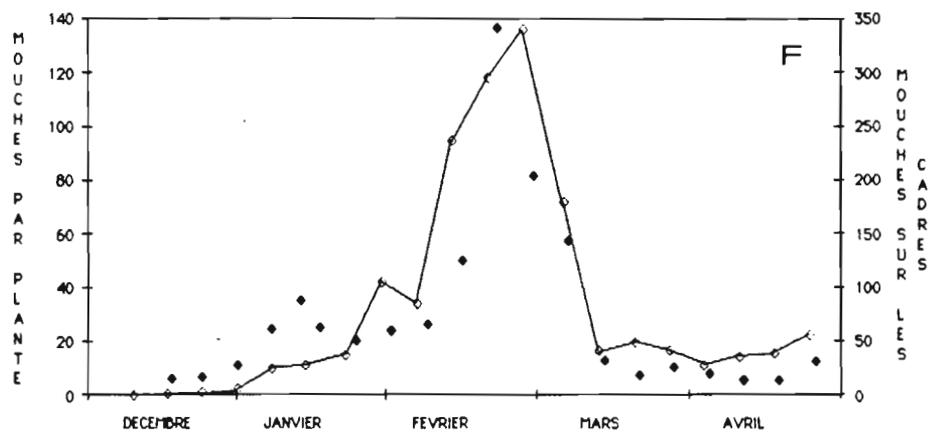
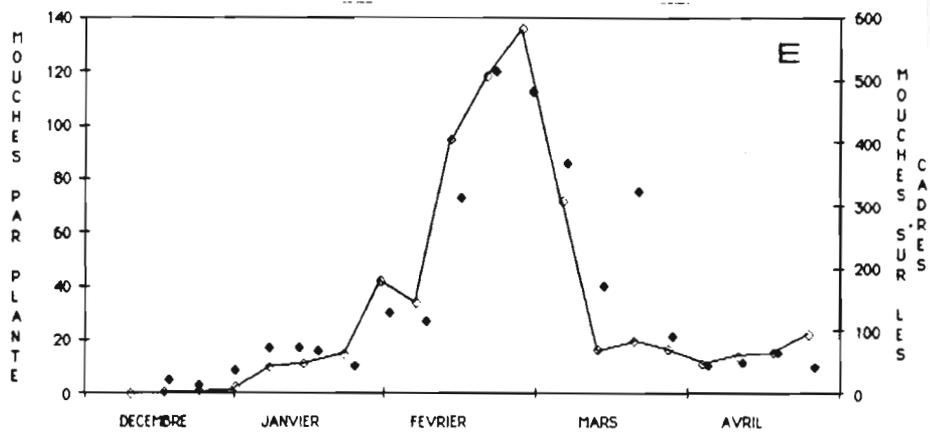
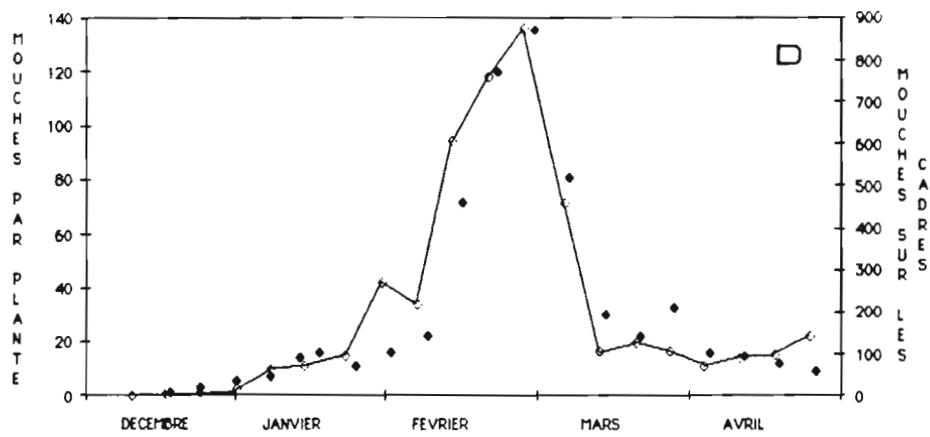


Figure 3.22 (A-F). Nombre de mouches blanches par plante et nombre de mouches blanches piégées sur 12 cadres de pièges à glu à chaque position dans le champ (A-F) au cours du temps.

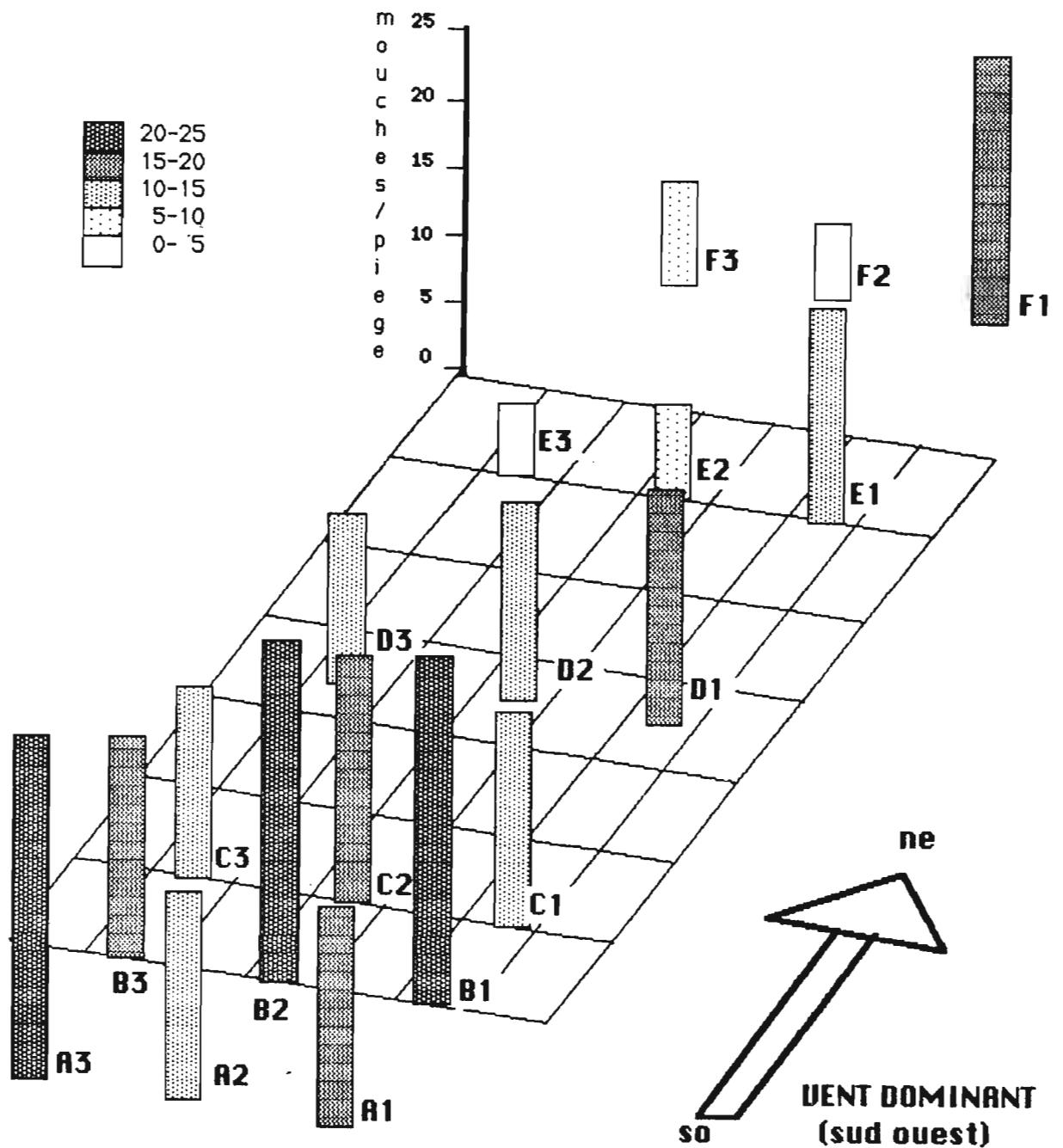


Figure 3.23 (A-E). Gradient dans le champ du nombre de mouches blanches attrapées sur 4 cadres de pièges à glu pendant la période du 20 au 24 janvier (A), 24 au 28 février (B) et 31 mars au 4 avril (C).

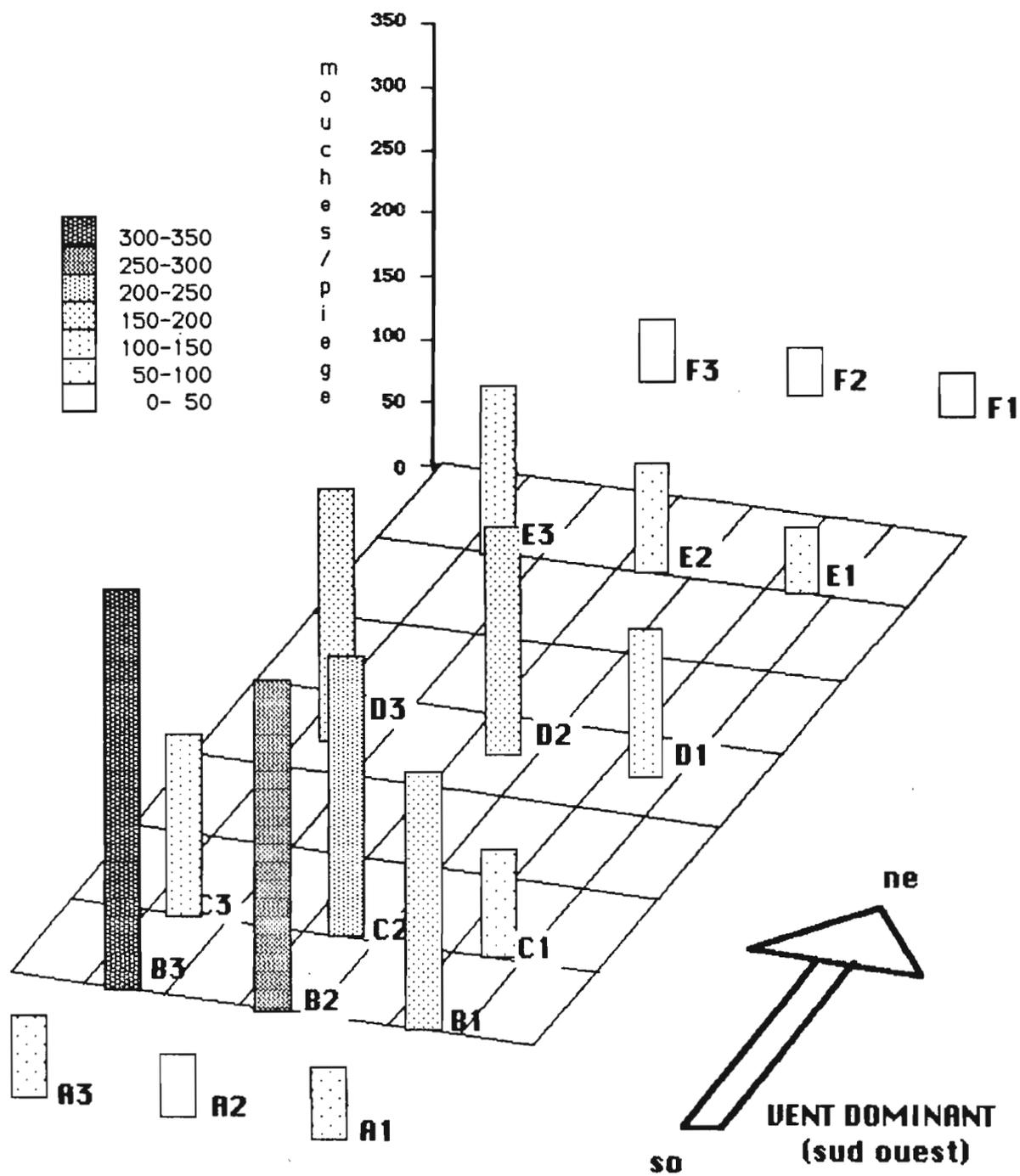


Figure 3.23 (A-E). Gradient dans le champ du nombre de mouches blanches attrapées sur 4 cadres de pièges à glu pendant la période du 20 au 24 janvier (A), 24 au 28 février (B) et 31 mars au 4 avril (C).

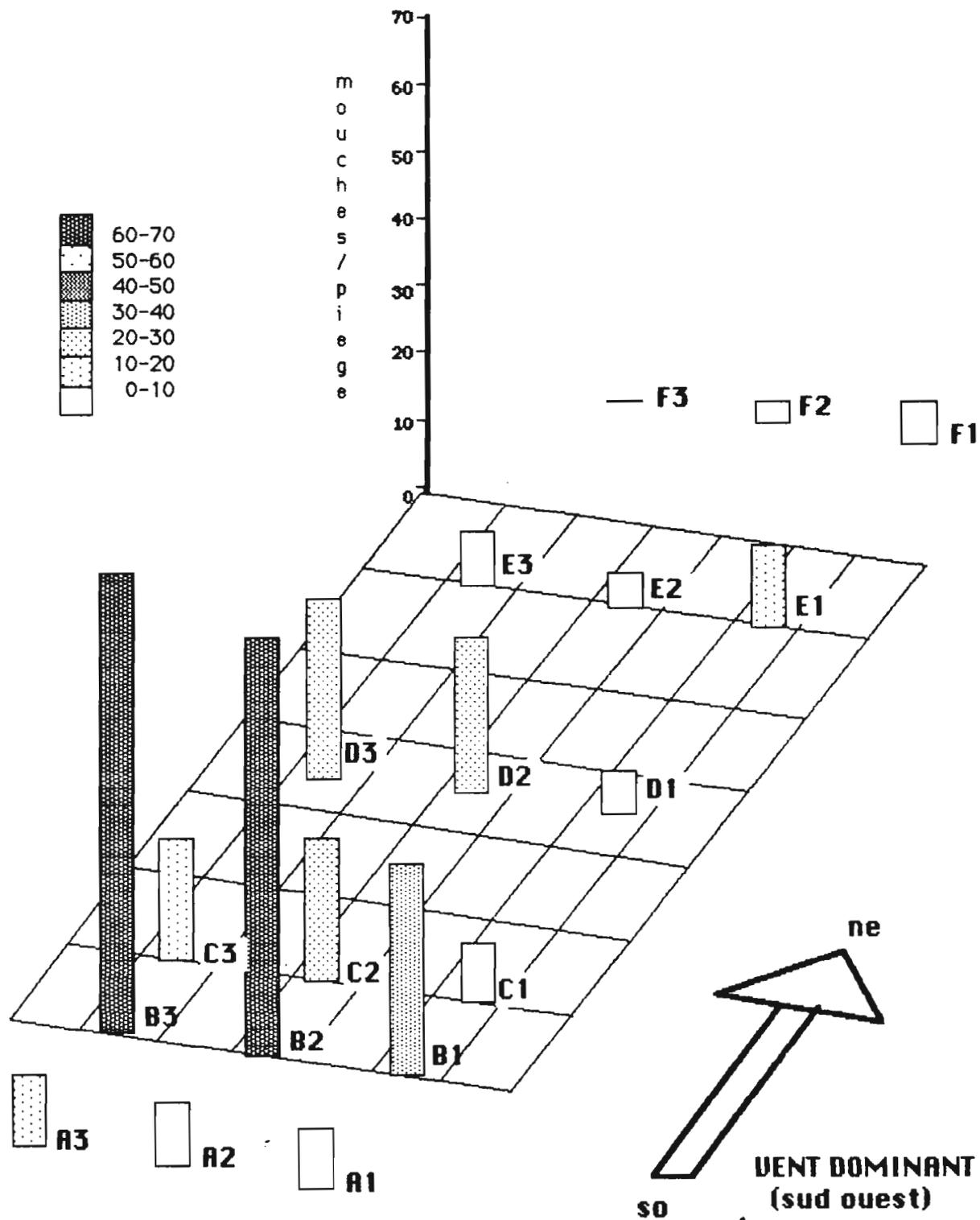


Figure 3.23 (A-E). Gradient dans le champ du nombre de mouches blanches attrapées sur 4 cadres de pièges à glu pendant la période du 20 au 24 janvier (A), 24 au 28 février (B) et 31 mars au 4 avril (C).

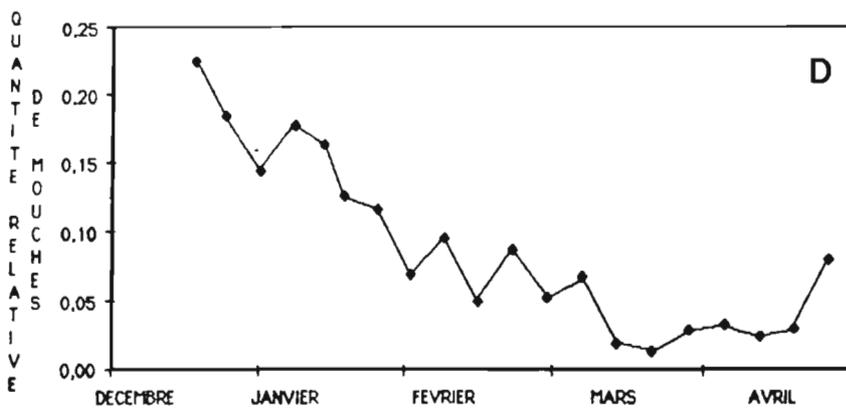
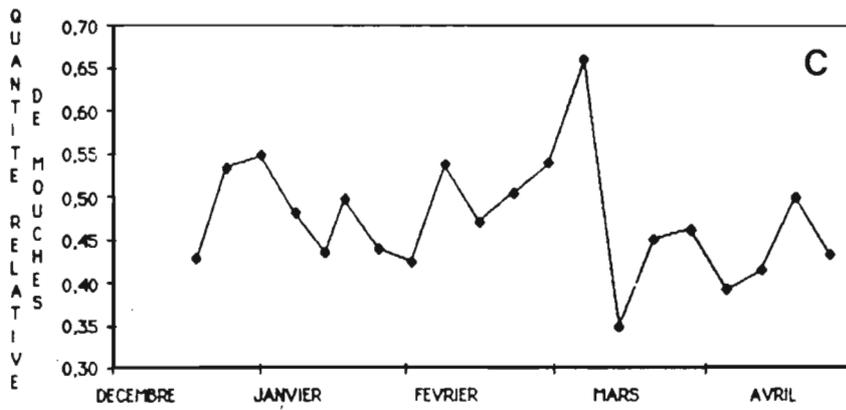
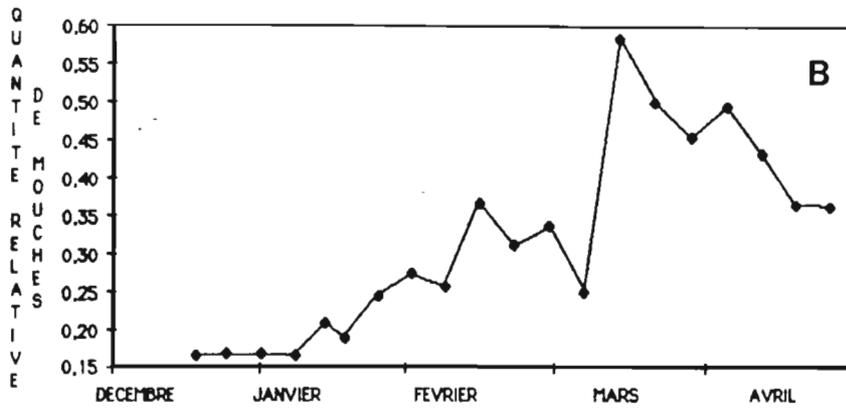
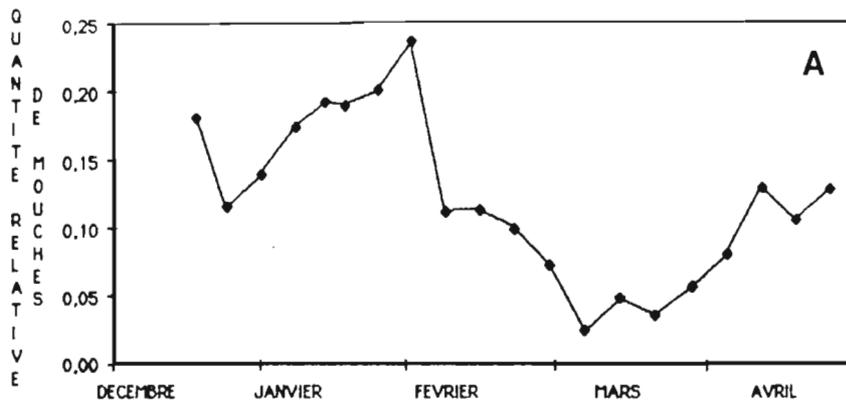


Figure 3.24 (A-D). Nombre de mouches blanches piégées sur les pièges à glu avant le champ (A), en bordure du champ (B), dans le champ (C) et derrière le champ (D) divisé par le nombre total de mouches blanches piégées sur les pièges à glu (quantité relative) au cours du temps.

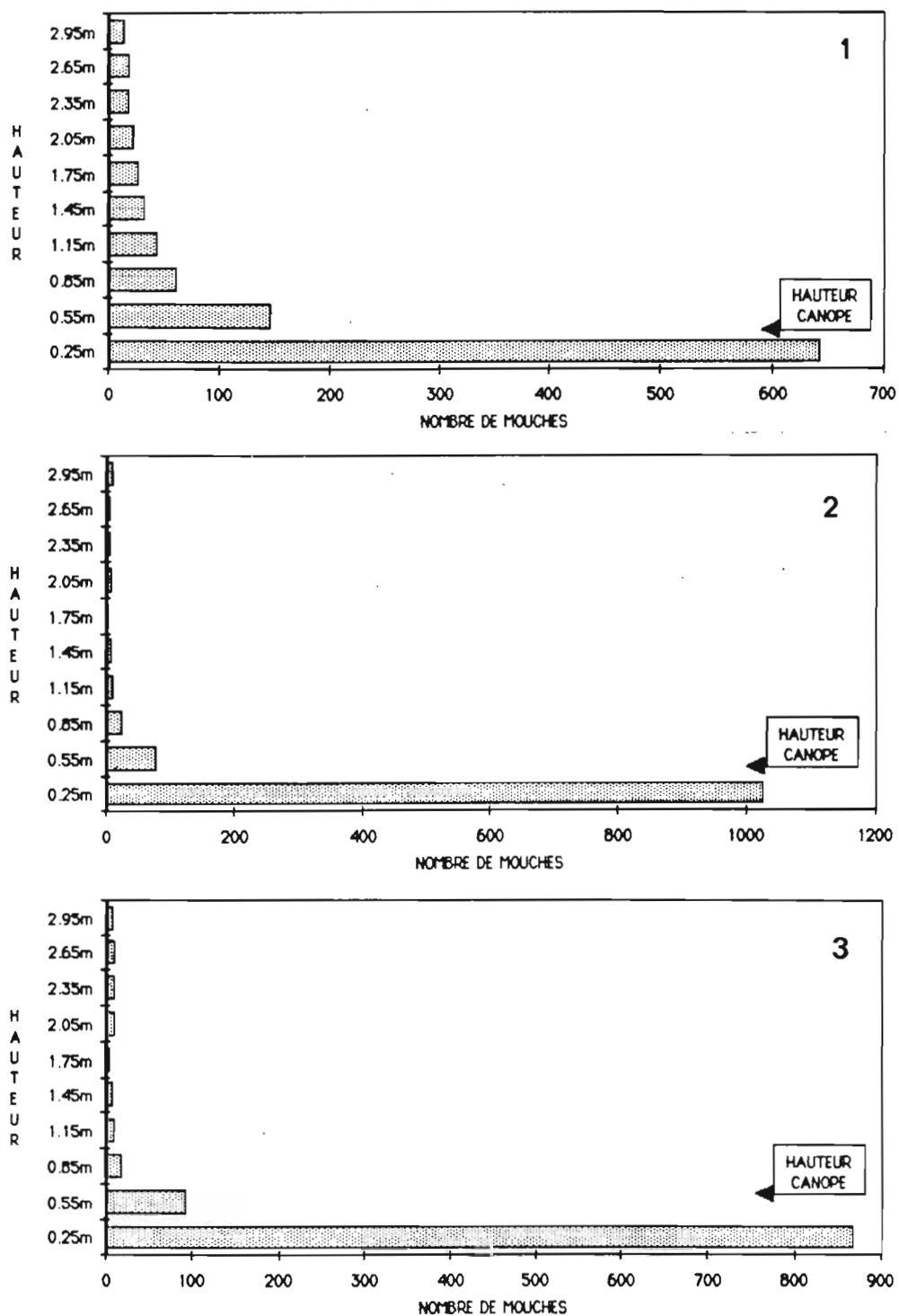


Figure 3.25 (1-12). Gradient vertical du nombre de mouches blanches piégées par 24 heures sur 12 bandes jaunes de pièges cylindriques à 10 hauteurs différentes (de 0,25 à 2,95 m) à des dates successives (1-12). La hauteur de la canopée est indiquée.

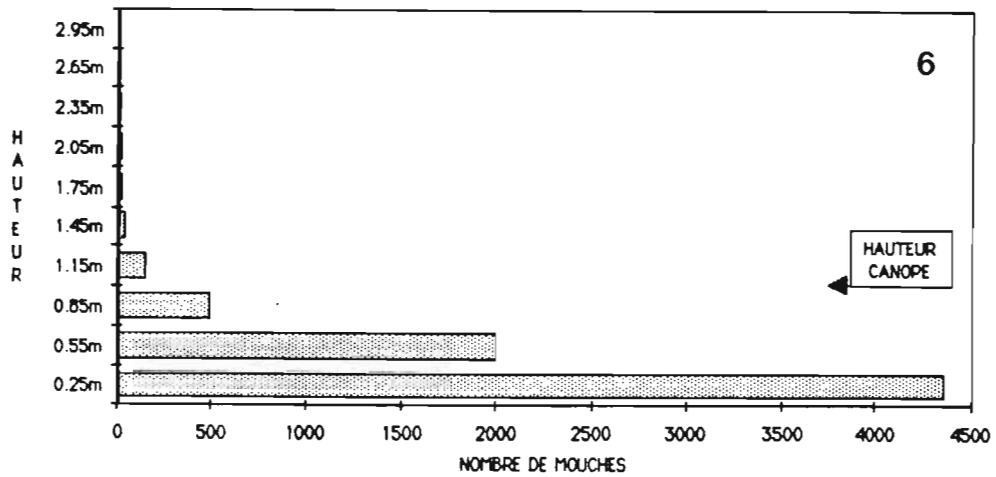
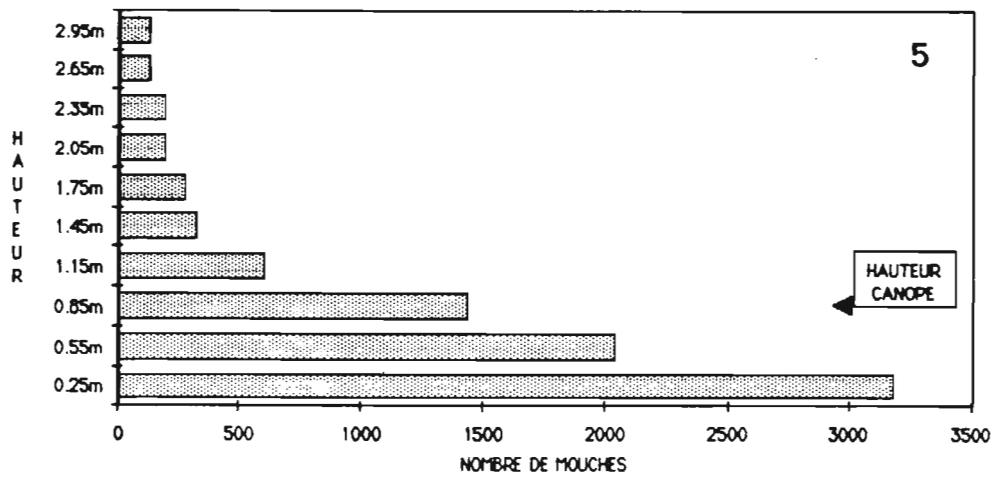
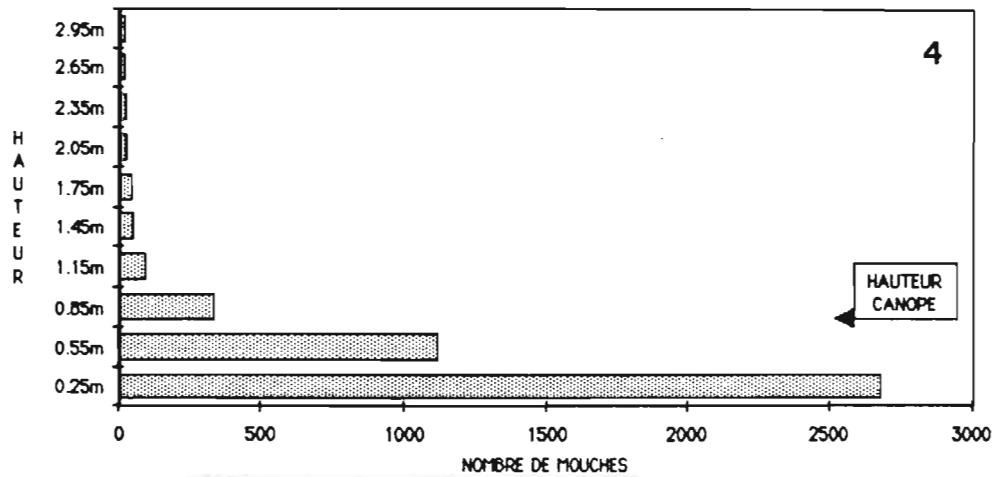


Figure 3.25 (1-12). Gradient vertical du nombre de mouches blanches piégées par 24 heures sur 12 bandes jaunes de pièges cylindriques à 10 hauteurs différentes (de 0,25 à 2,95 m) à des dates successives (1-12). La hauteur de la canopée est indiquée.

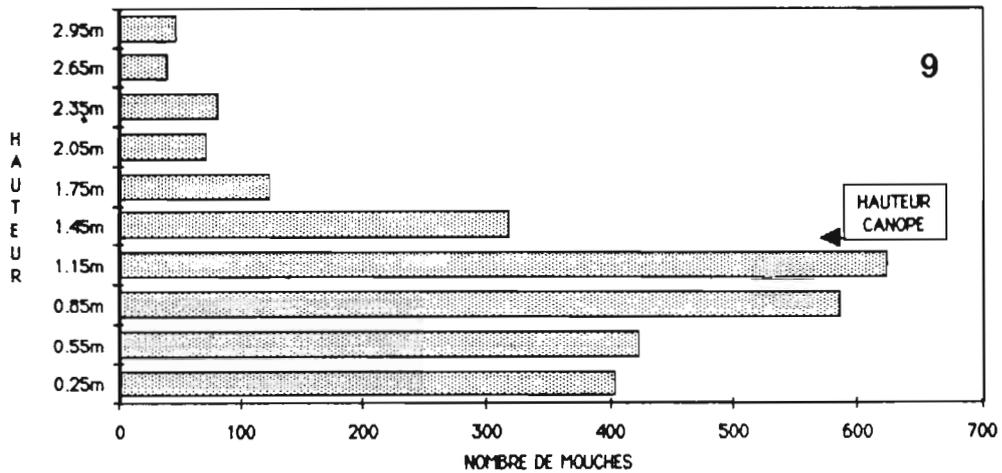
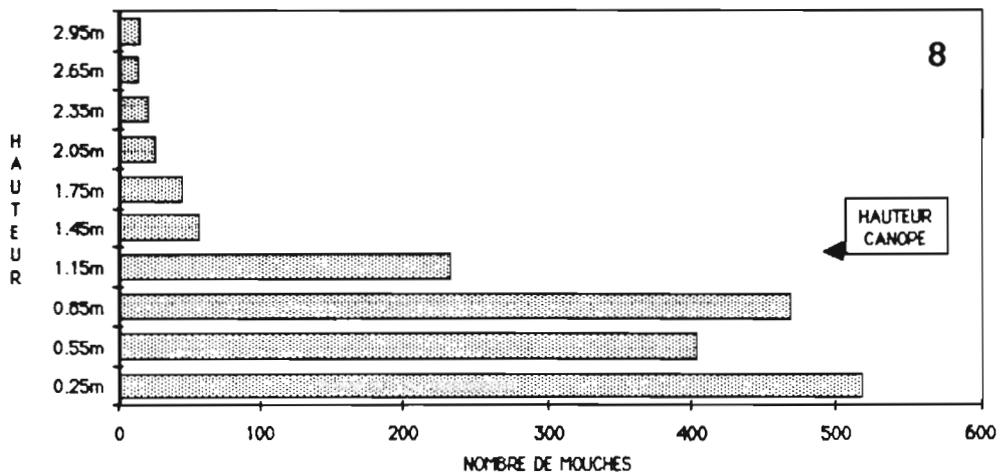
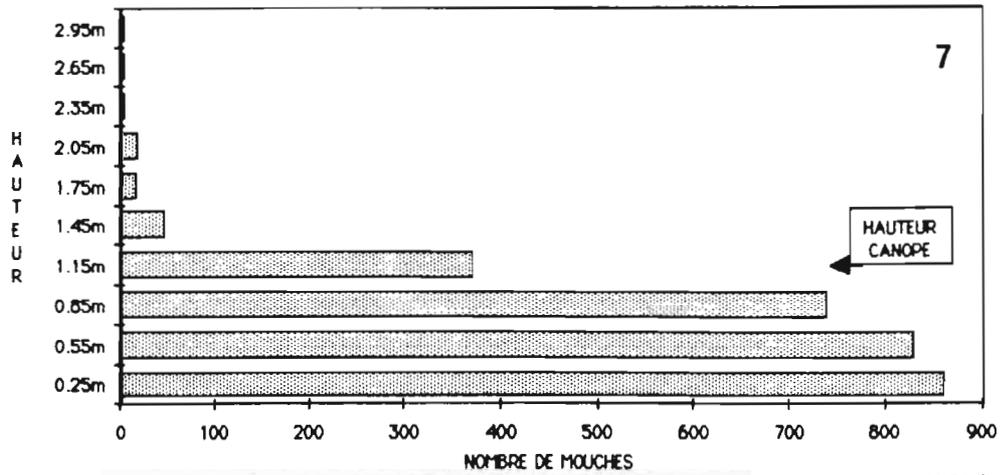


Figure 3.25 (1-12). Gradient vertical du nombre de mouches blanches piégées par 24 heures sur 12 bandes jaunes de pièges cylindriques à 10 hauteurs différentes (de 0,25 à 2,95 m) à des dates successives (1-12). La hauteur de la canopée est indiquée.

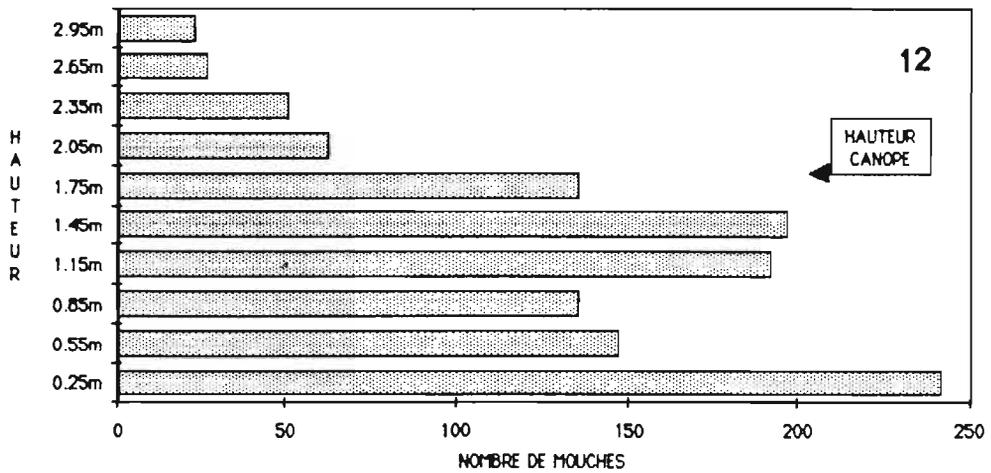
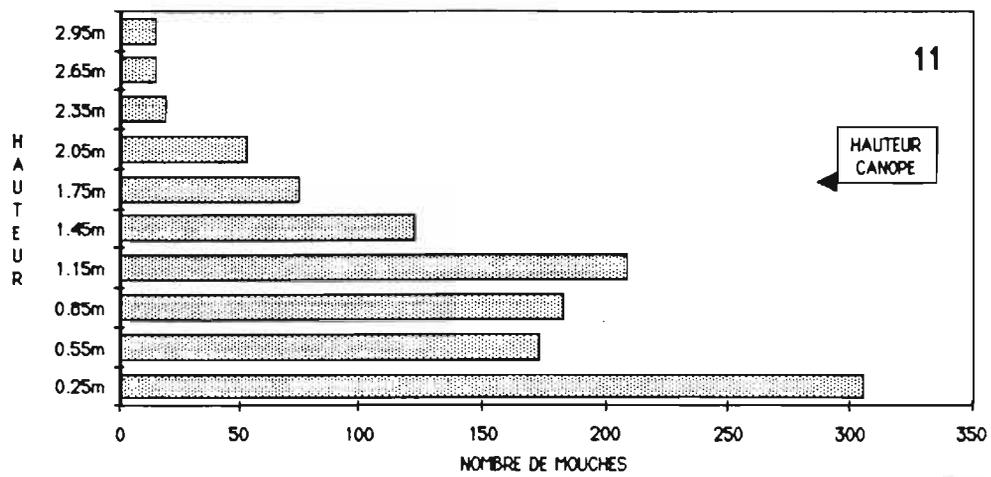
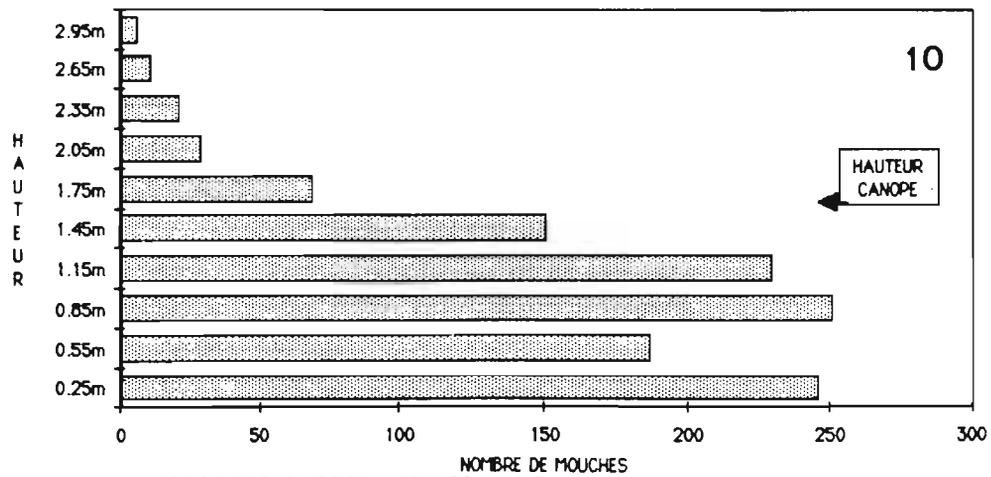


Figure 3.25 (1-12). Gradient vertical du nombre de mouches blanches piégées par 24 heures sur 12 bandes jaunes de pièges cylindriques à 10 hauteurs différentes (de 0,25 à 2,95 m) à des dates successives (1-12). La hauteur de la canopée est indiquée.

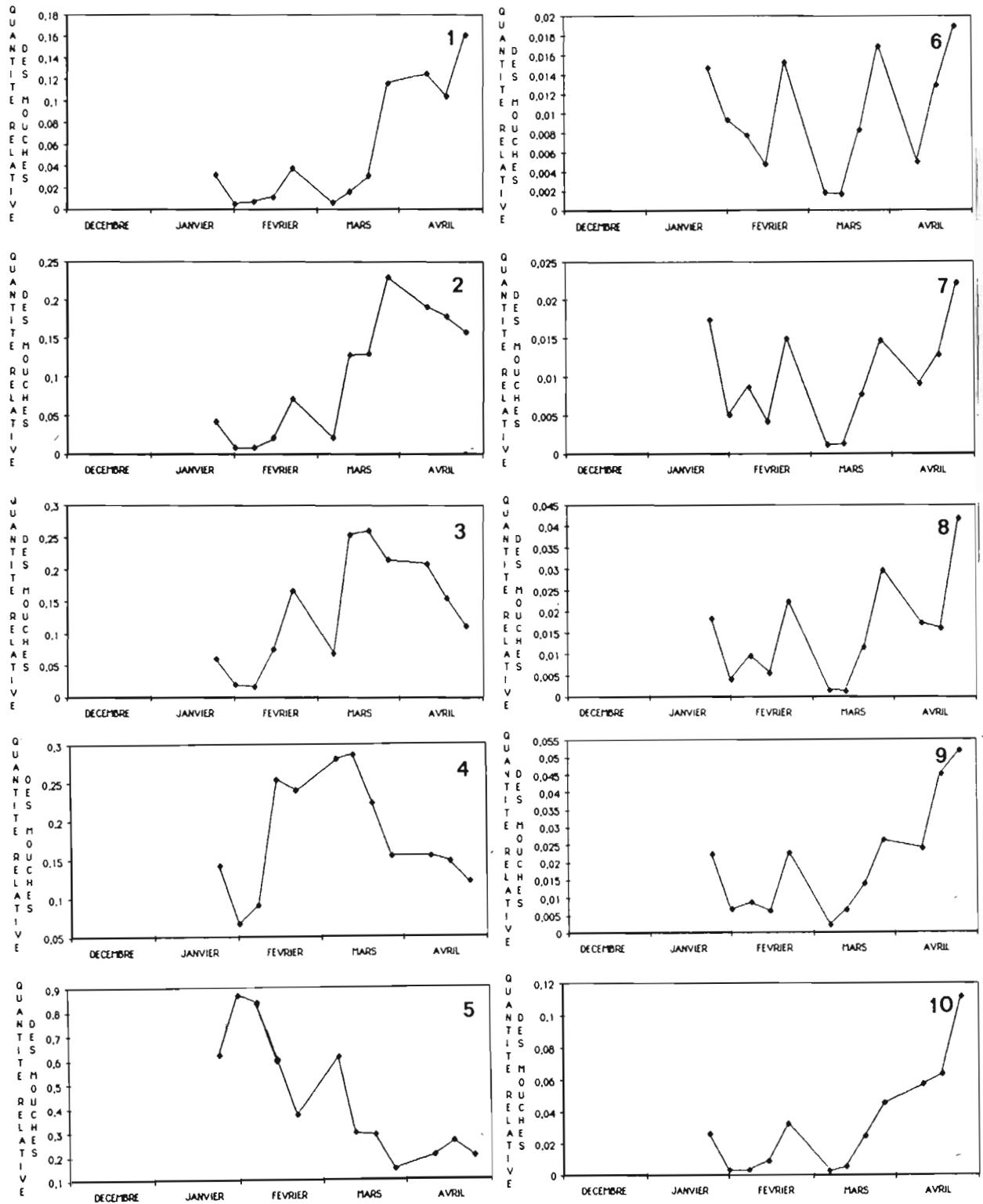


Figure 3.26 (1-10). Nombre de mouches blanches piégées sur 12 bandes jaunes de pièges cylindriques sur une hauteur de 0,25 m (1), 0,55 m (2), 0,85 m (3), 1,15 m (5), 1,75 m (6), 2,05 m (7), 2,35 m (8), 2,65 m (9) et 2,95 m (10), divisé par le nombre total de mouches blanches piégées sur 120 bandes jaunes (quantité relative) au cours du temps.

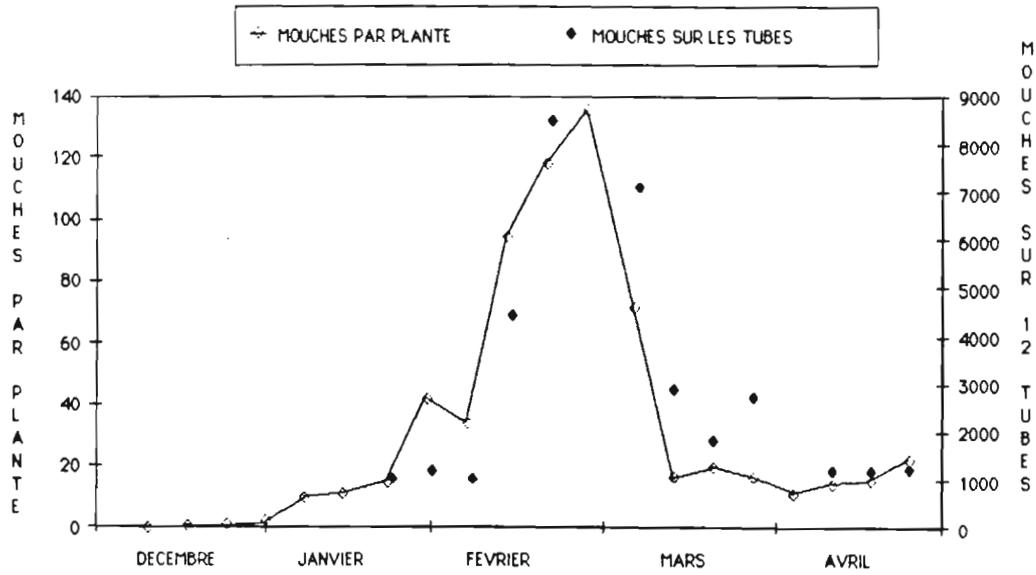


Figure 3.27. Nombre de mouches blanches par plante et nombre de mouches blanches piégées sur 120 bandes jaunes de pièges cylindriques au cours du temps.

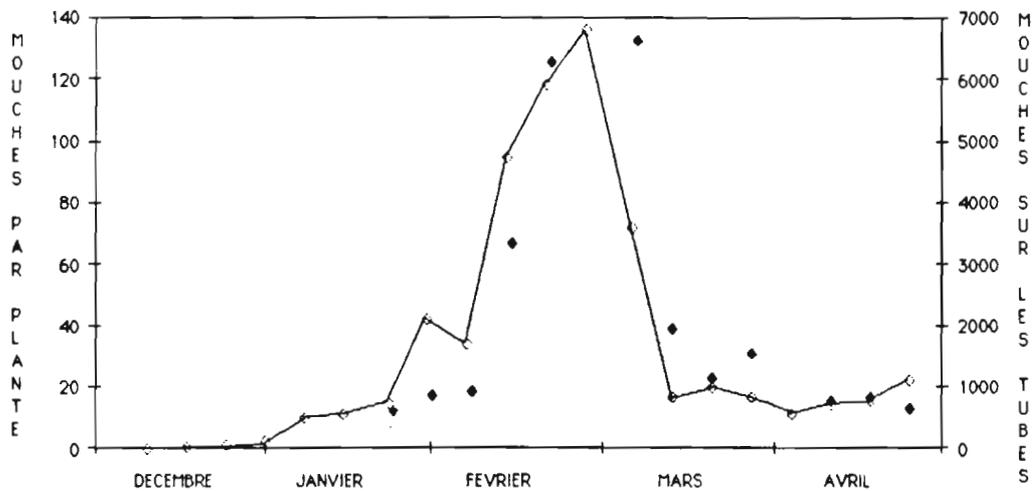


Figure 3.28. Nombre de mouches blanches par plante et nombre de mouches blanches piégées sur 60 bandes jaunes de pièges cylindriques dans le champs au cours du temps.

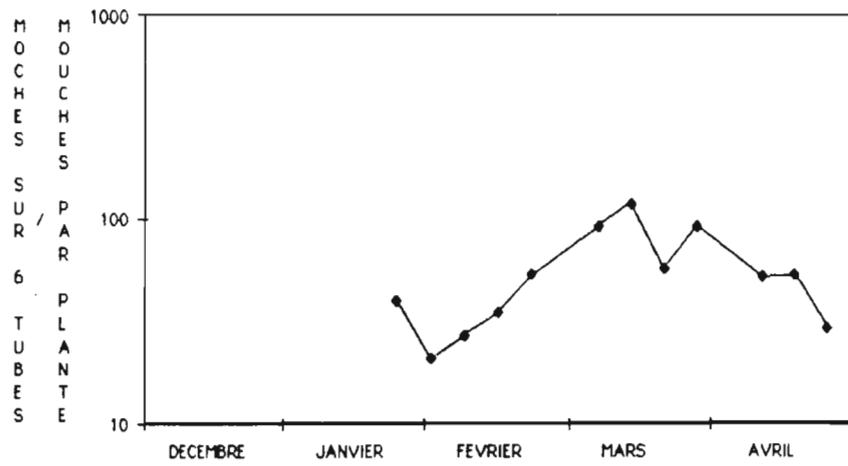


Figure 3.29. Nombre de mouches blanches piégées sur 120 bandes jaunes, divisé par le nombre de mouches blanches par plante (échelle logarithmique) au cours du temps.

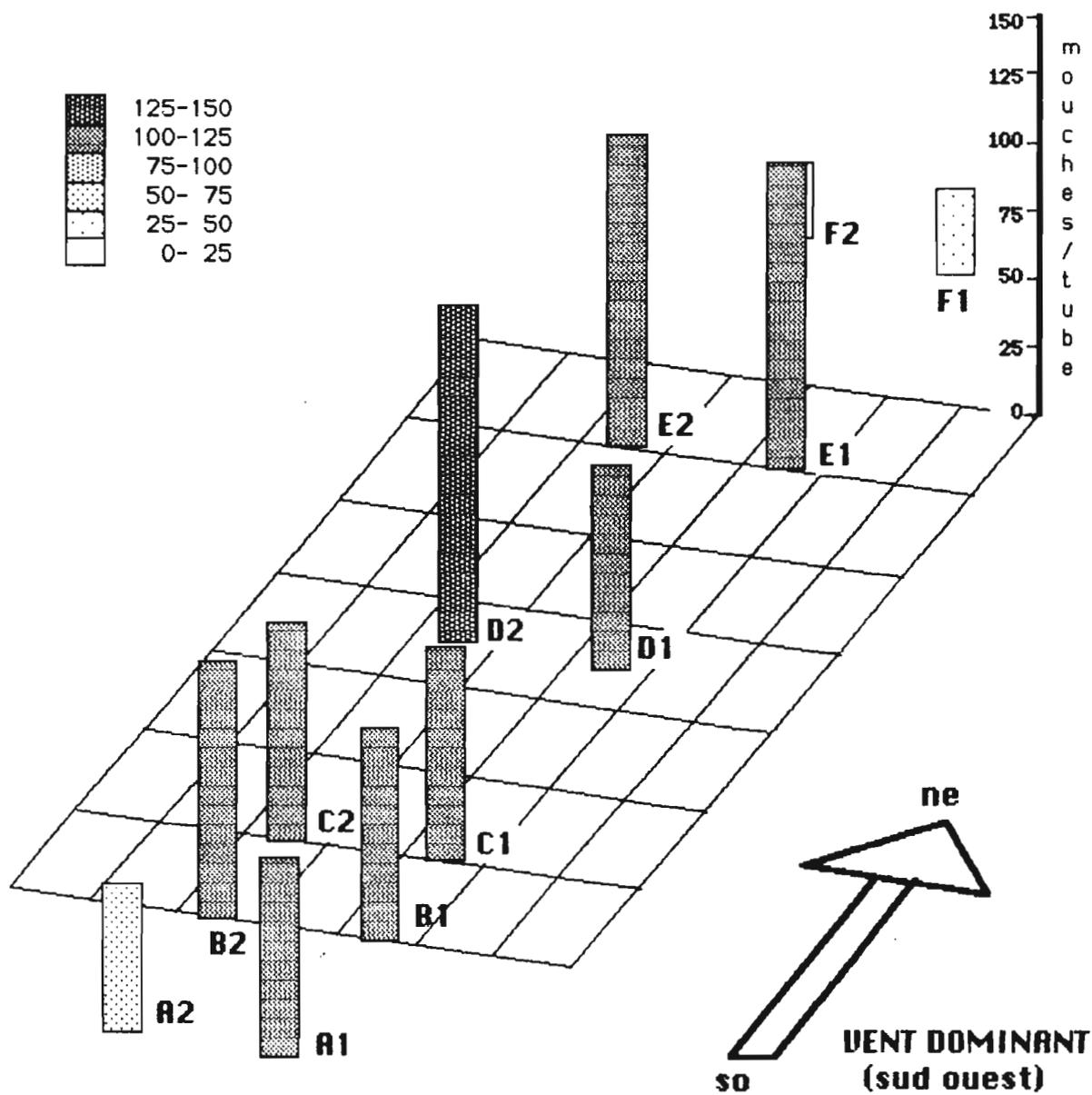


Figure 3.30 (A-C). Gradient dans le champ de mouches blanches piégées par piège cylindrique (10 bandes jaunes) le 23 janvier (A), le 7 mars (B) et le 10 avril (C).

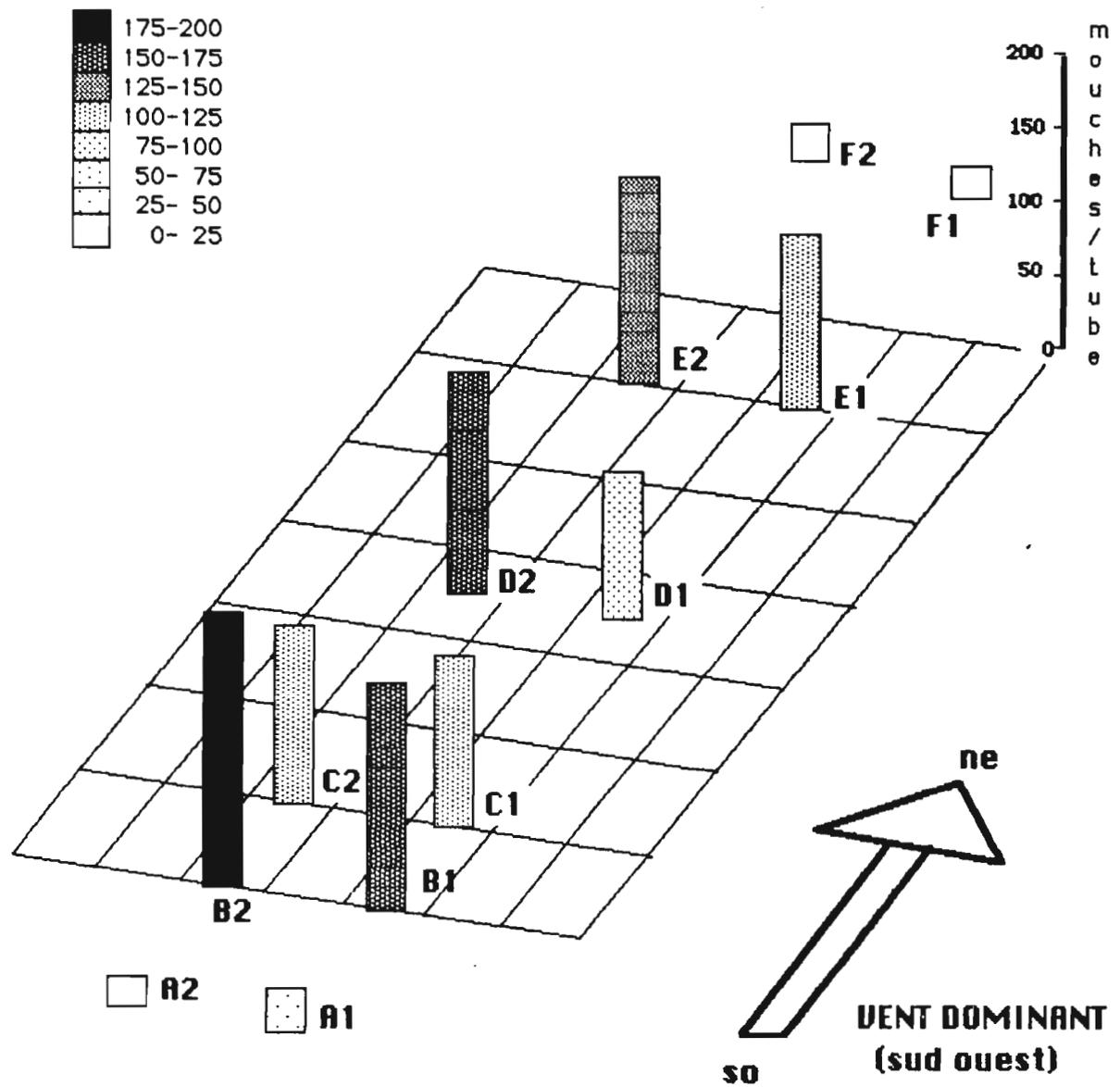


Figure 3.30 (A-C). Gradient dans le champ de mouches blanches piégées par piège cylindrique (10 bandes jaunes) le 23 janvier (A), le 7 mars (B) et le 10 avril (C).

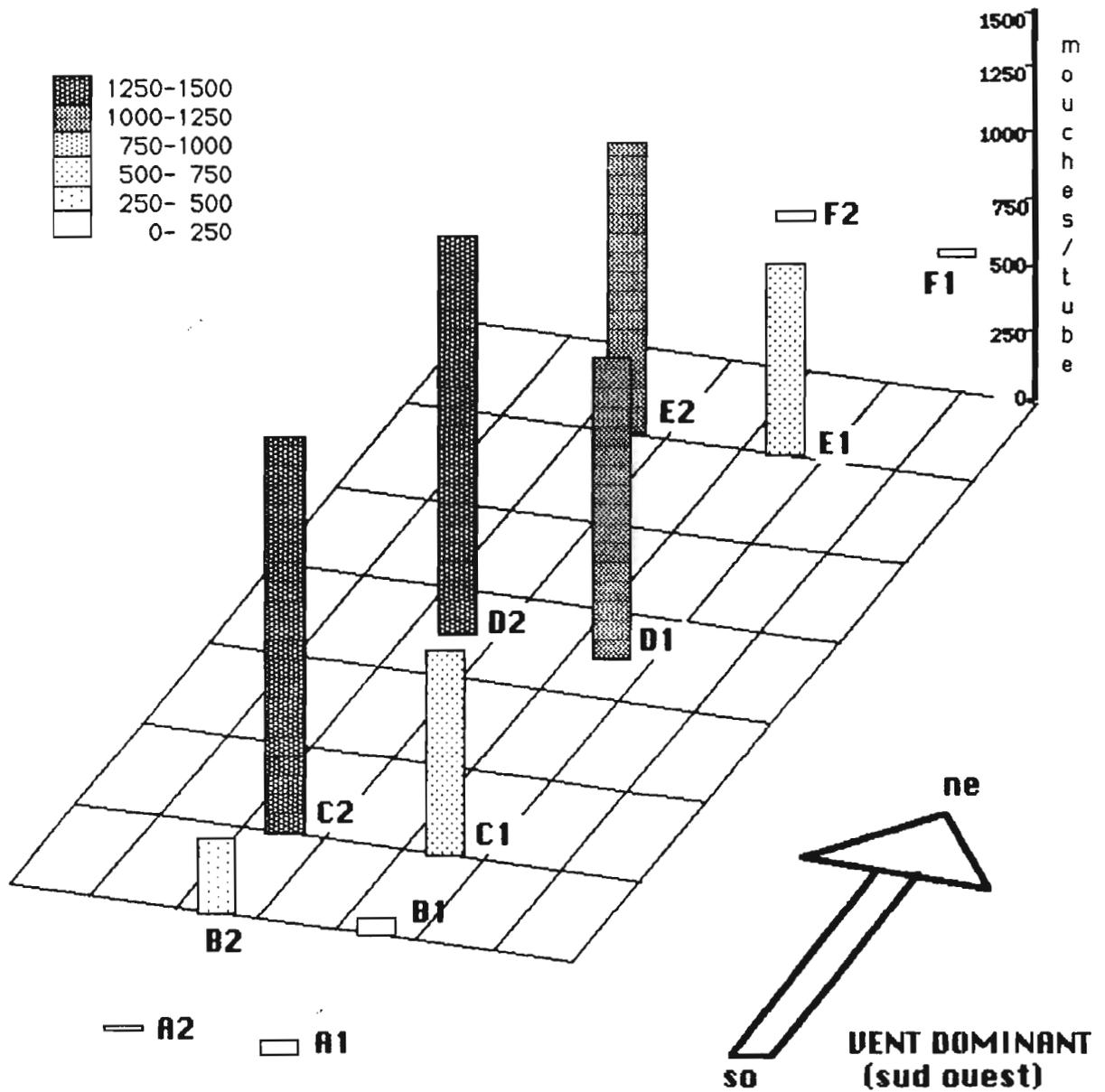


Figure 3.30 (A-C). Gradient dans le champ de mouches blanches piégées par piège cylindrique (10 bandes jaunes) le 23 janvier (A), le 7 mars (B) et le 10 avril (C).

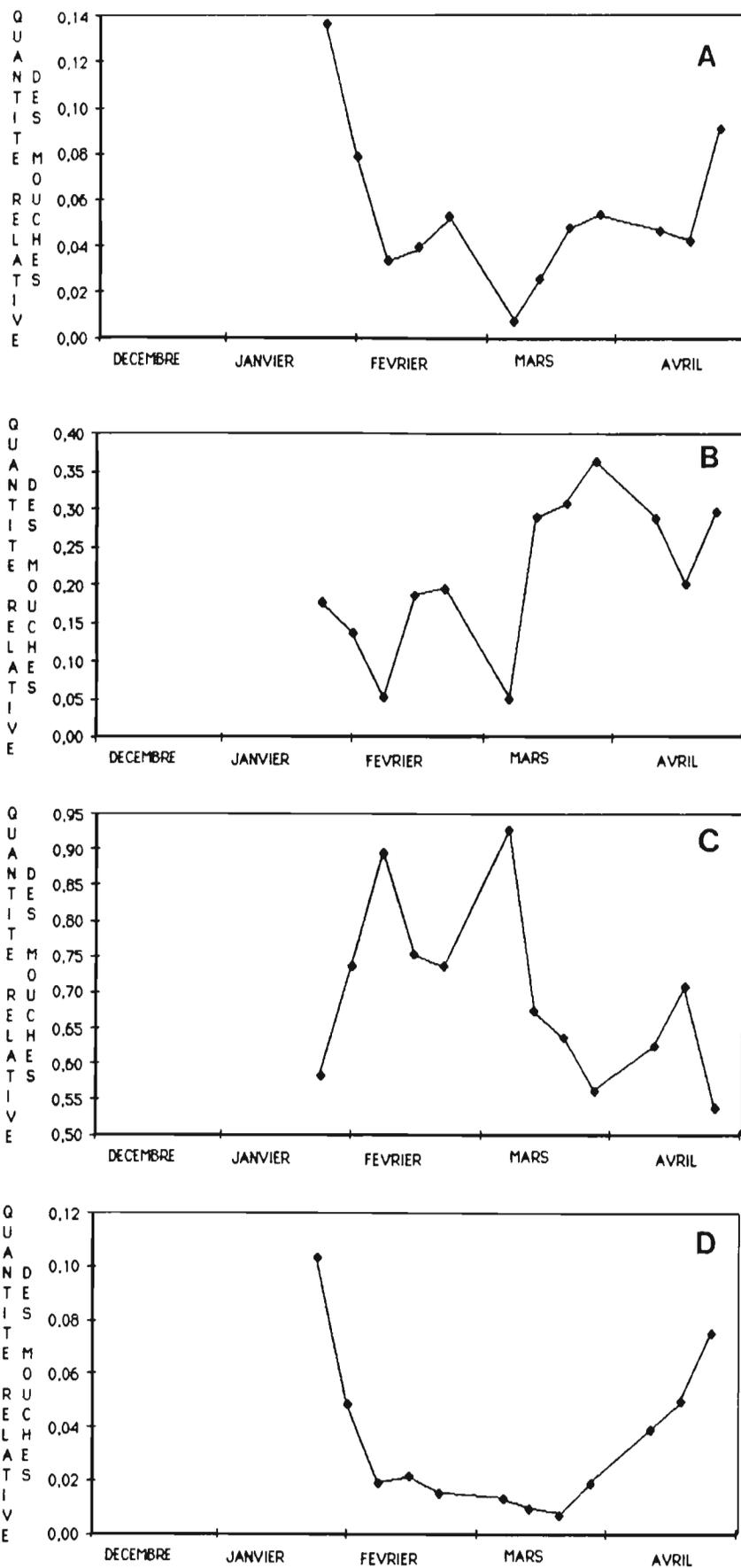


Figure 3.31 (A-D). Nombre de mouches blanches piégées sur les pièges cylindriques avant le champ (A), en bordure du champ (B), dans le champ (C) et derrière le champ (D), divisé par le nombre total de mouches blanches piégées sur les 12 pièges cylindriques (Quantité relative) au cours du temps.

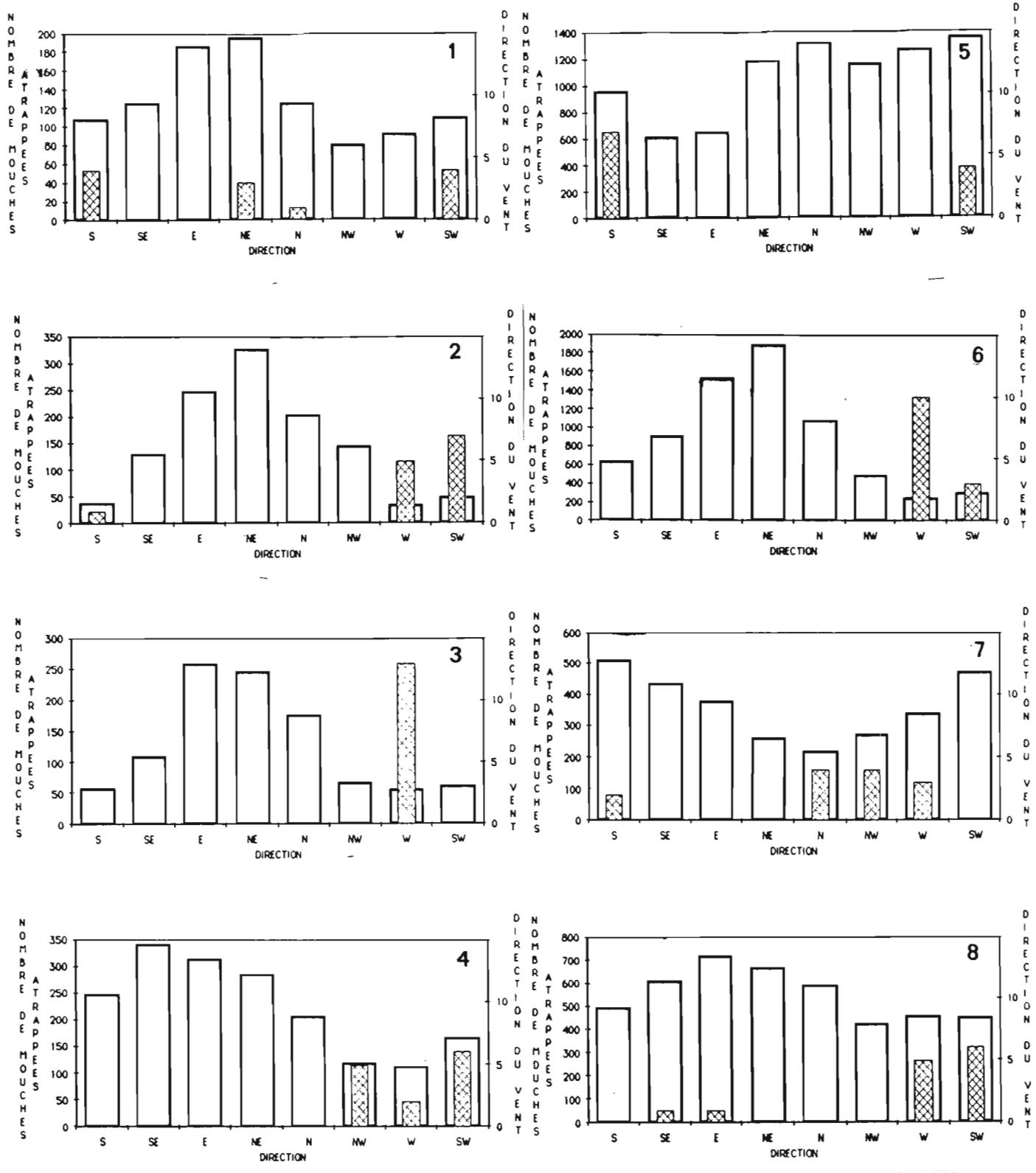


Figure 3.32 (1-12). Nombre de mouches blanches piégées par direction sur les 12 pièges cylindriques et distribution des directions du vent à 12 dates successives (1-12).

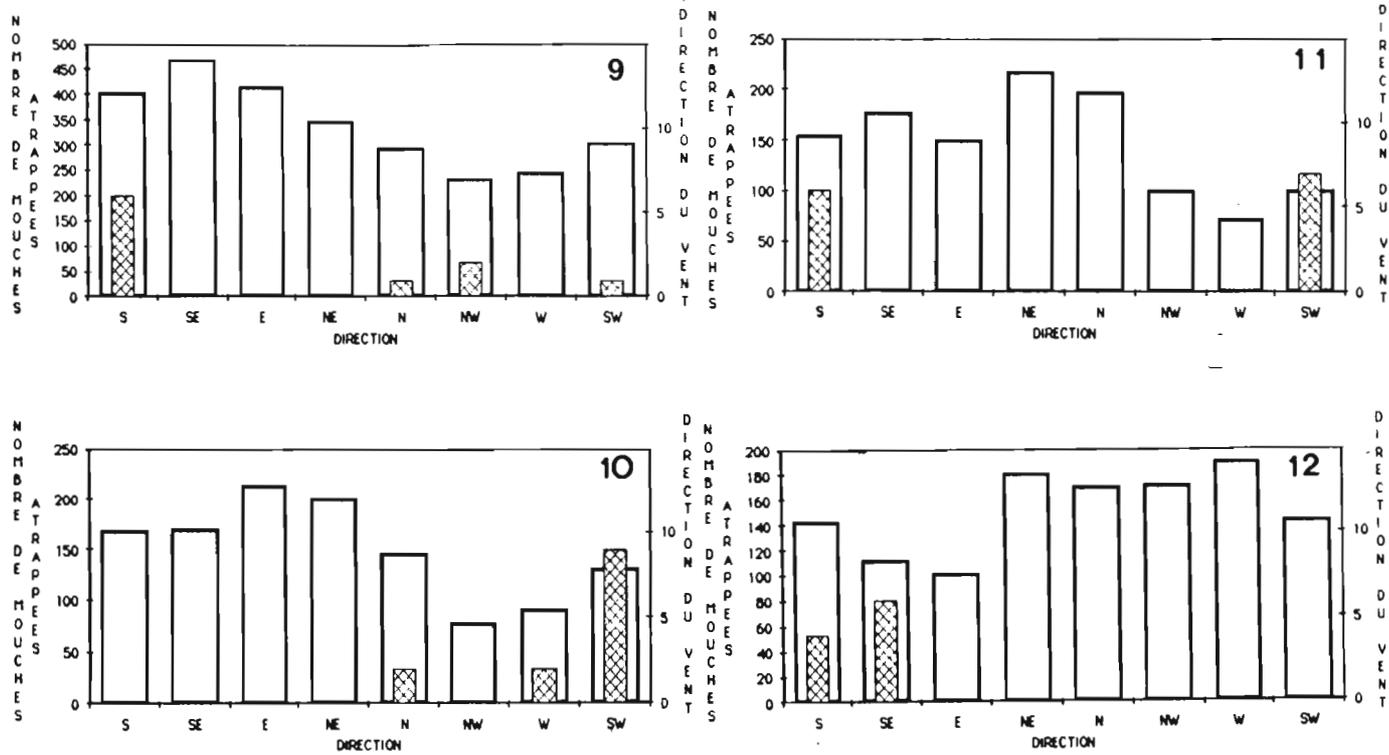


Figure 3.32 (1-12). Nombre de mouches blanches piégées par direction sur les 12 pièges cylindriques et distribution des directions du vent à 12 dates successives (1-12).

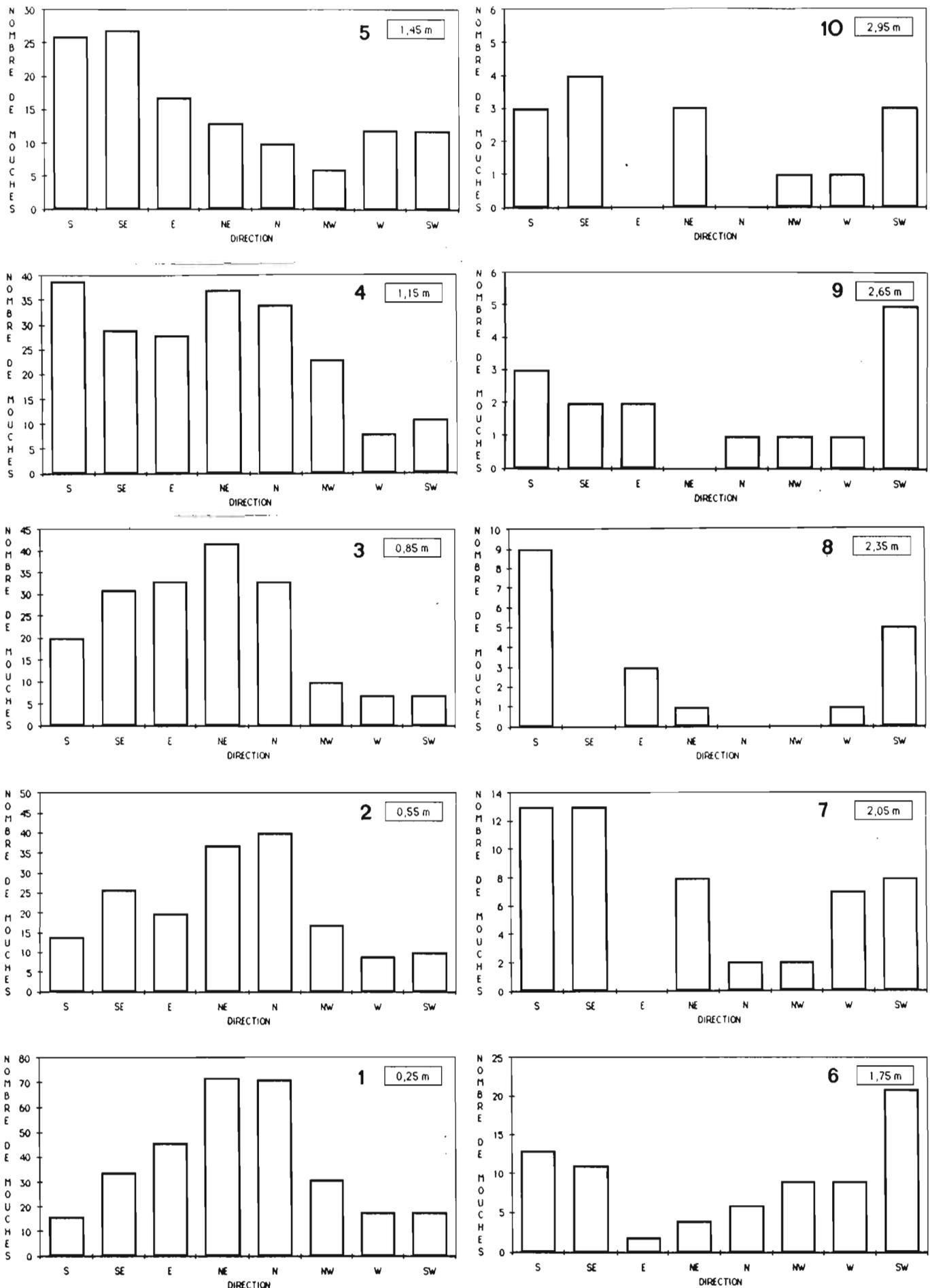


Figure 3.33 (1-11). Nombre de mouches blanches piégées par direction sur les 12 bandes jaunes à dix hauteurs différentes (1-10) et nombre total de toutes les hauteurs ensemble (11). Date de capture : 17 avril.

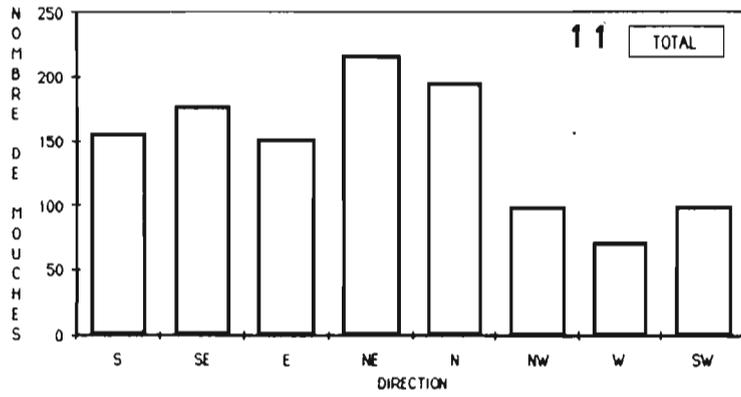


Figure 3.33 (1-11). Nombre de mouches blanches piégées par direction sur les 12 bandes jaunes à dix hauteurs différentes (1-10) et nombre total de toutes les hauteurs ensemble (11). Date de capture : 17 avril.

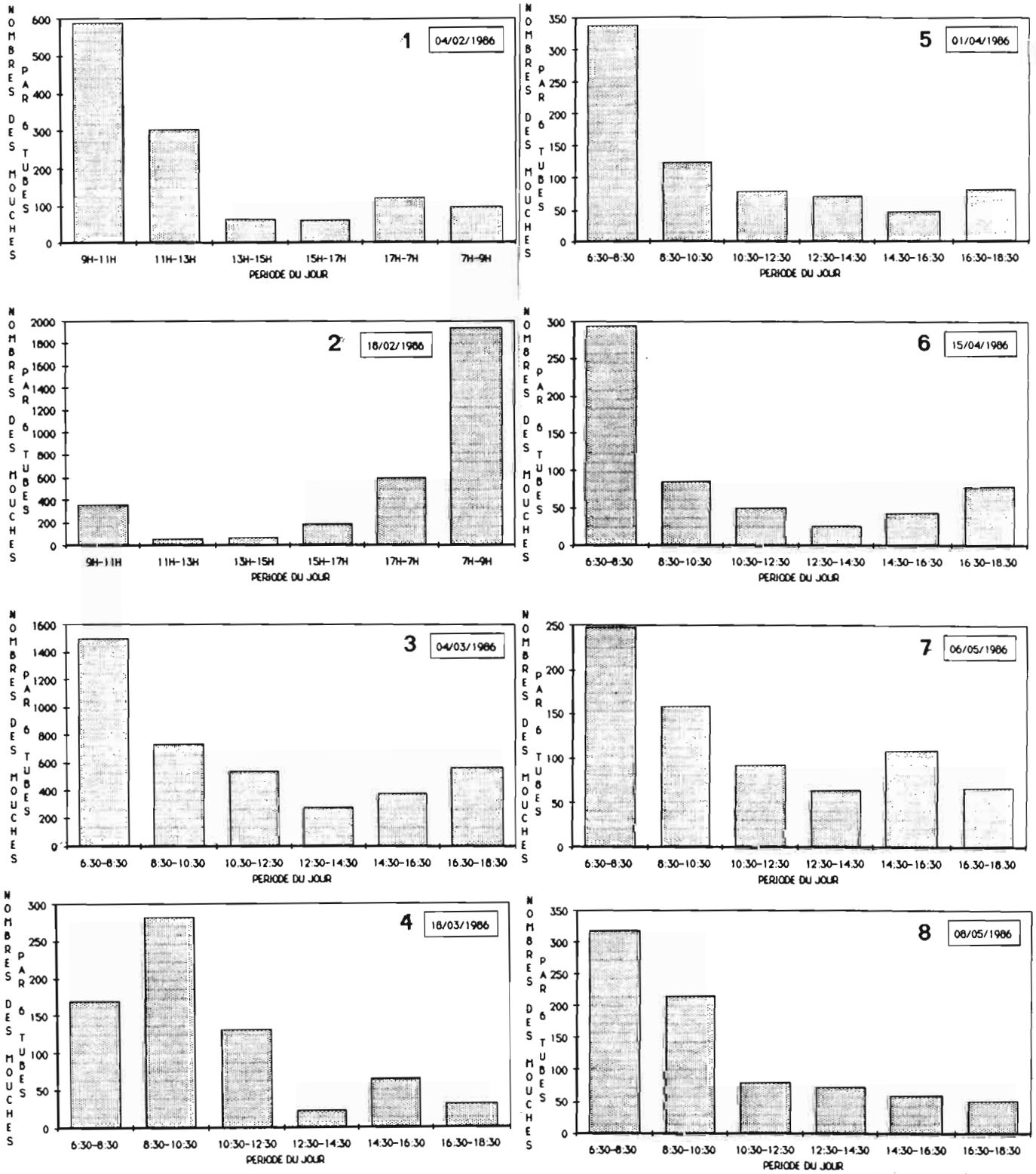


Figure 3.34 (1-8). Nombre de mouches blanches piégées par période de deux heures pendant la journée sur 6 pièges cylindriques à des dates successives (1-8).

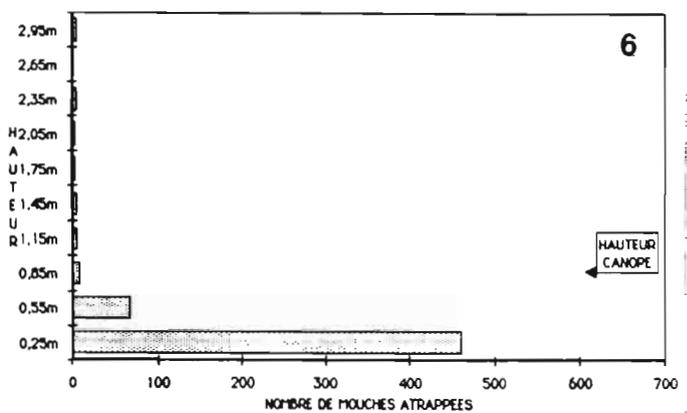
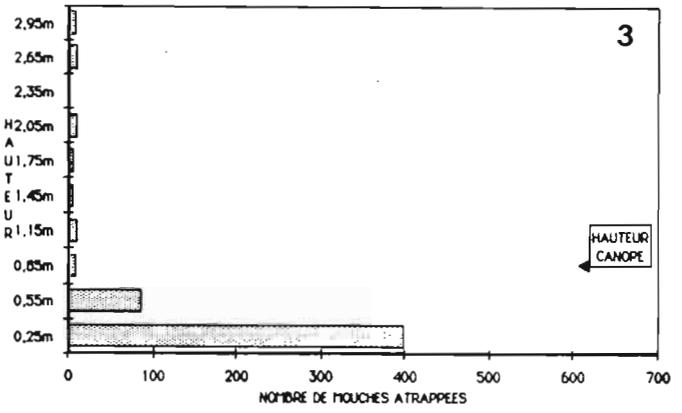
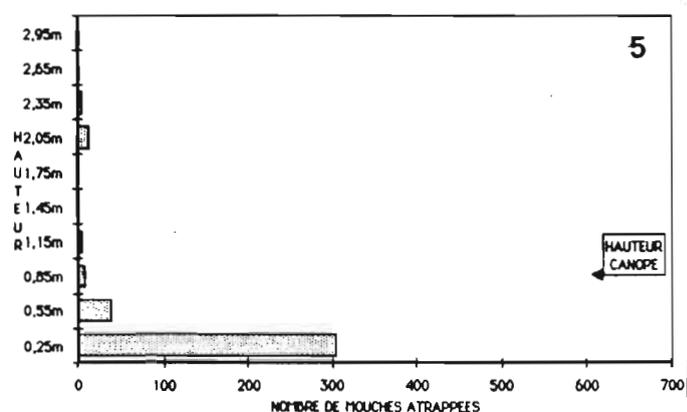
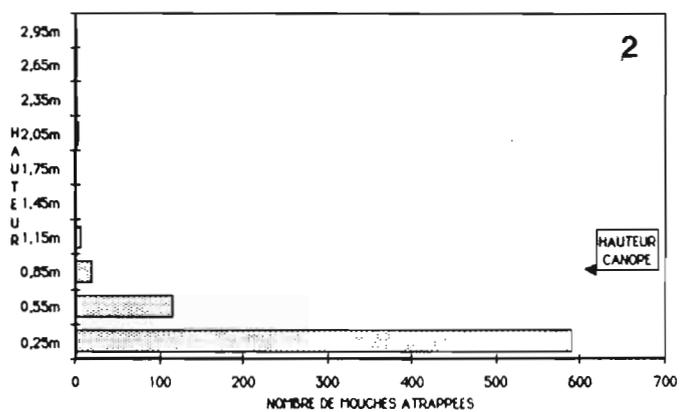
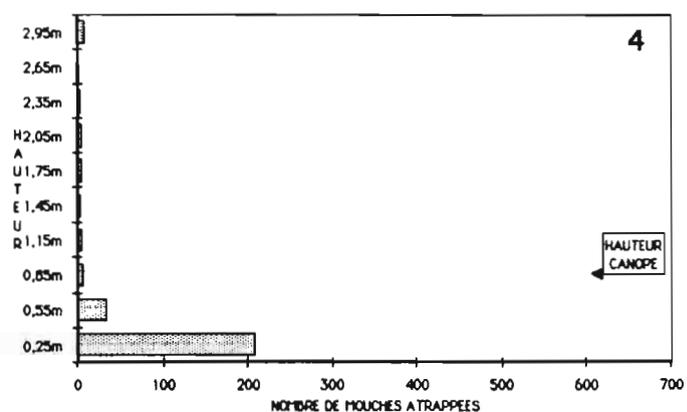
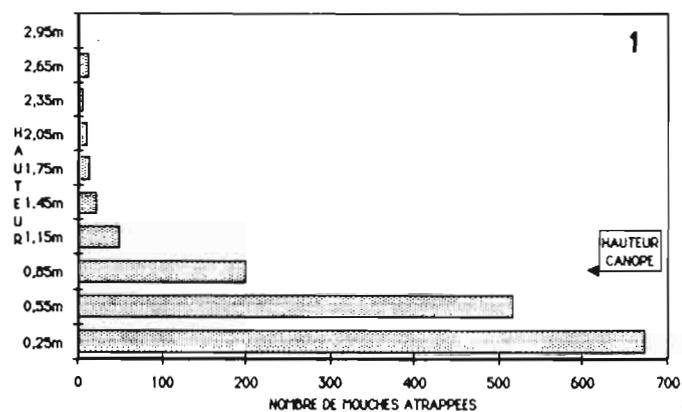


Figure 3.35 (1-6). Nombre de mouches blanches piégées par hauteur sur 6 pièges cylindriques dans des périodes de deux heures pendant la journée (1-6) (Date de comptage : 4 mars).

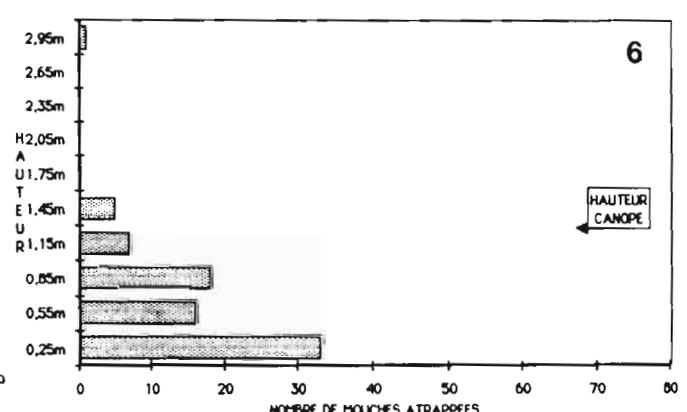
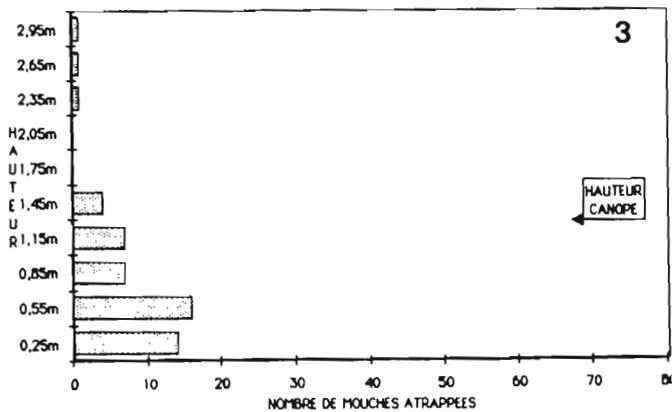
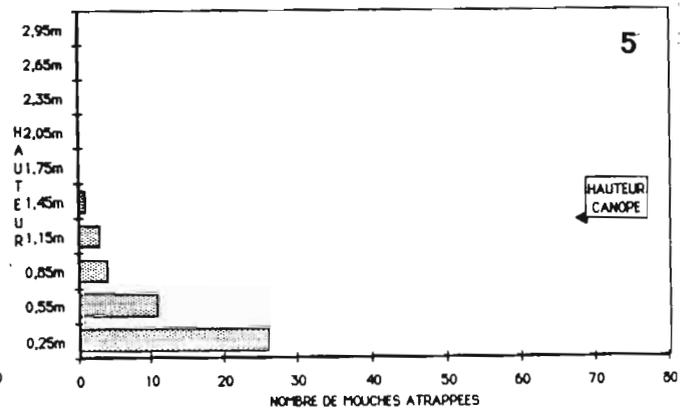
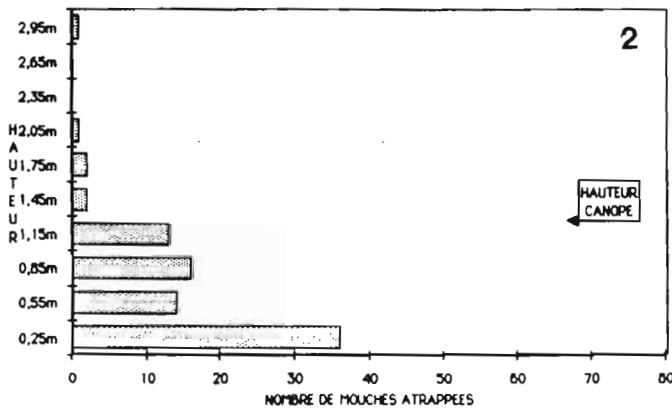
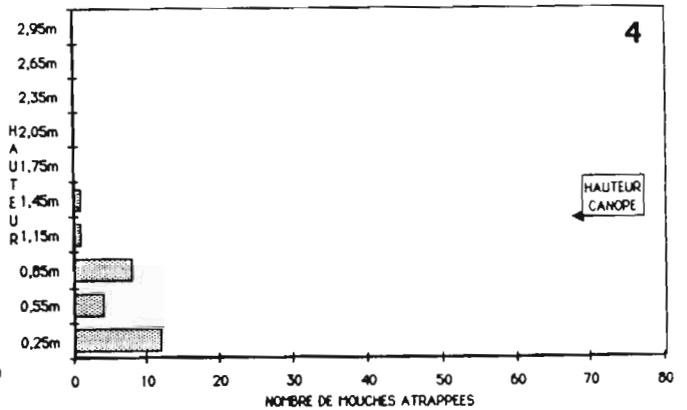
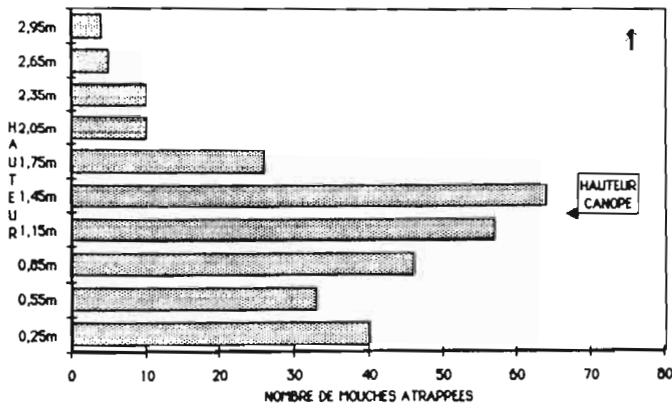


Figure 3.36 (1-6). Nombre de mouches blanches piégées par hauteur sur 6 pièges cylindriques dans des périodes de deux heures pendant la journée (1-6). (Date de comptage : 15 avril).

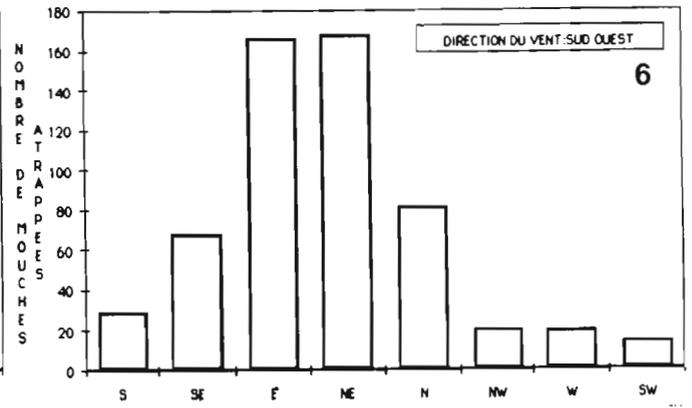
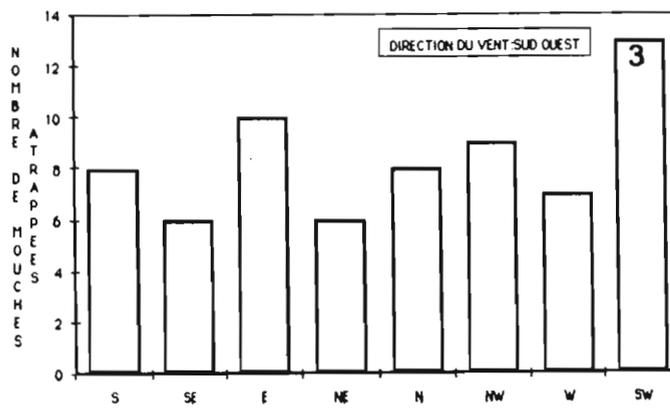
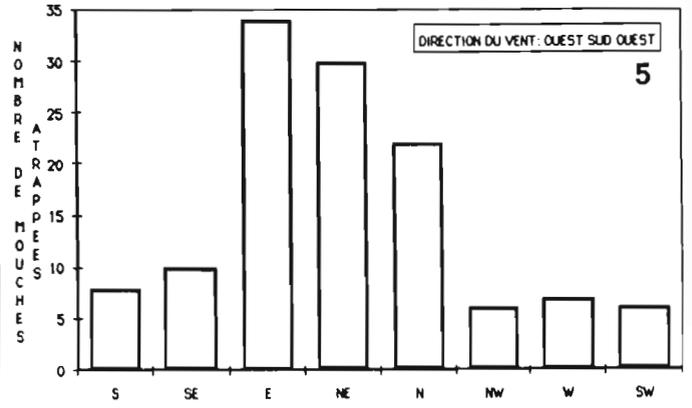
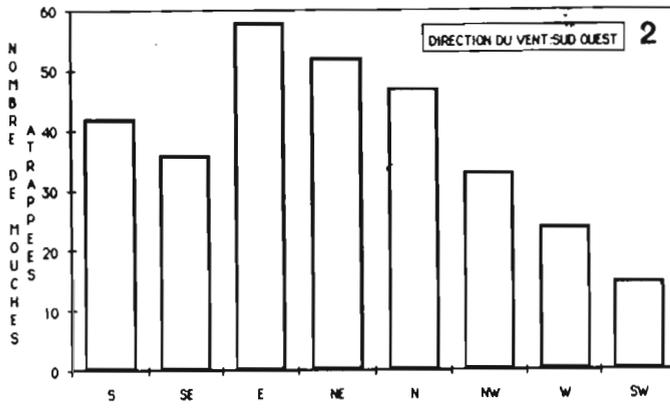
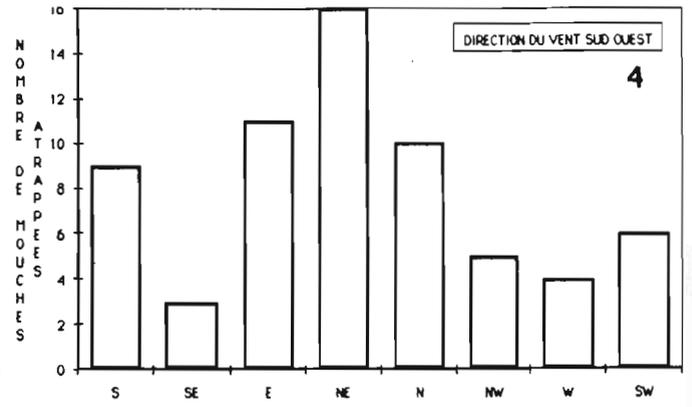
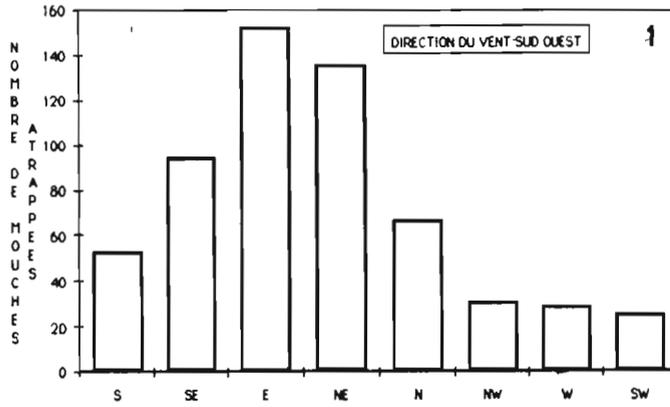


Figure 3.37 (1-6). Nombre de mouches blanches piégées par direction sur 6 pièges cylindriques par période de la journée : 9-11 H (1), 11-13 H (2), 13-15 H (3), 15-17 H (4), 17-7 H (5), 7-9 H (6). La direction du vent dans cette période est indiquée aussi. Date de comptage : 4 février.

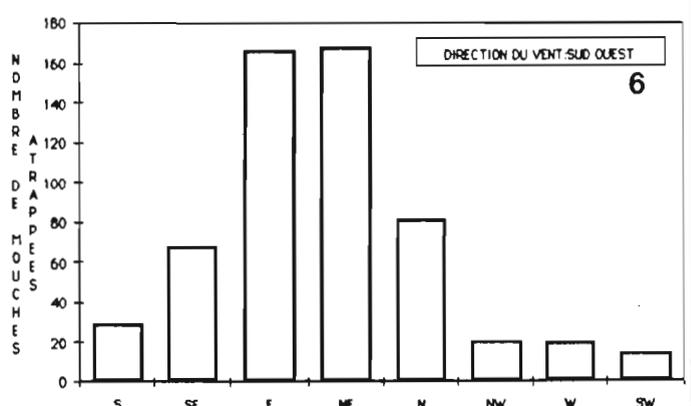
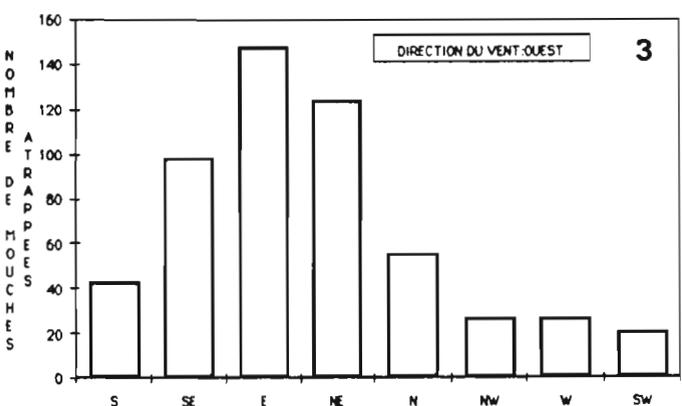
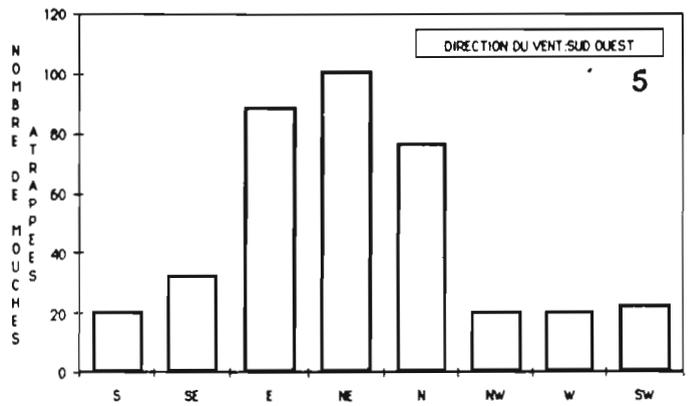
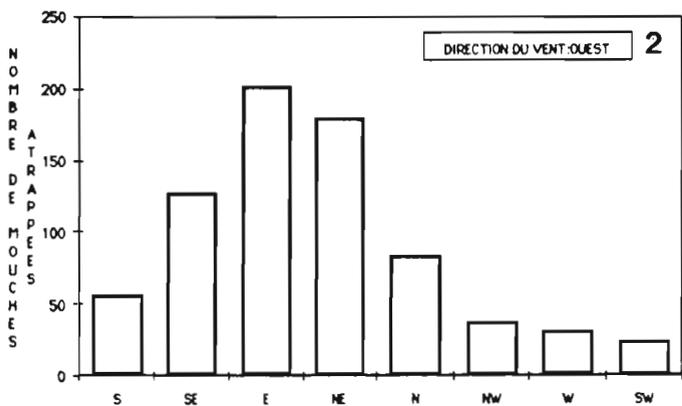
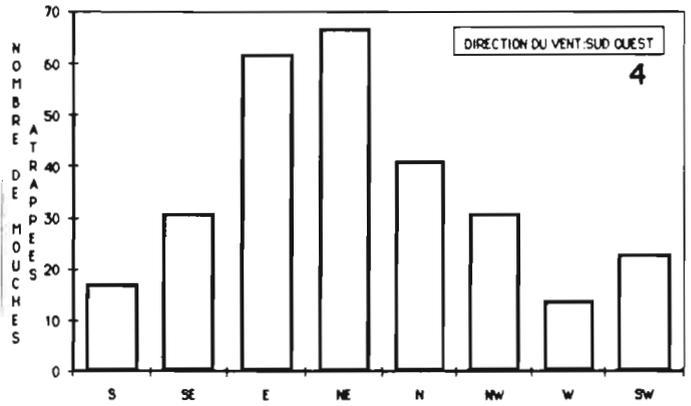
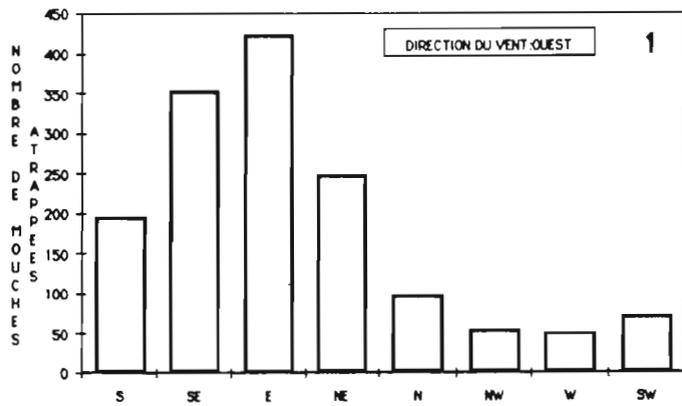


Figure 3.38 (1-6). Nombre de mouches blanches piégées par direction sur 6 pièges cylindriques par période de 2 heures pendant la journée : 6:30 - 8:30 H (1), 8:30 - 10:30 H (2), 10:30 - 12:30 H (3), 12:30 - 14:30 H (4), 14:30 - 16:30 H (5), 16:30 - 18:30 H (6). La direction du vent est indiquée. Date de comptage : 4 mars.

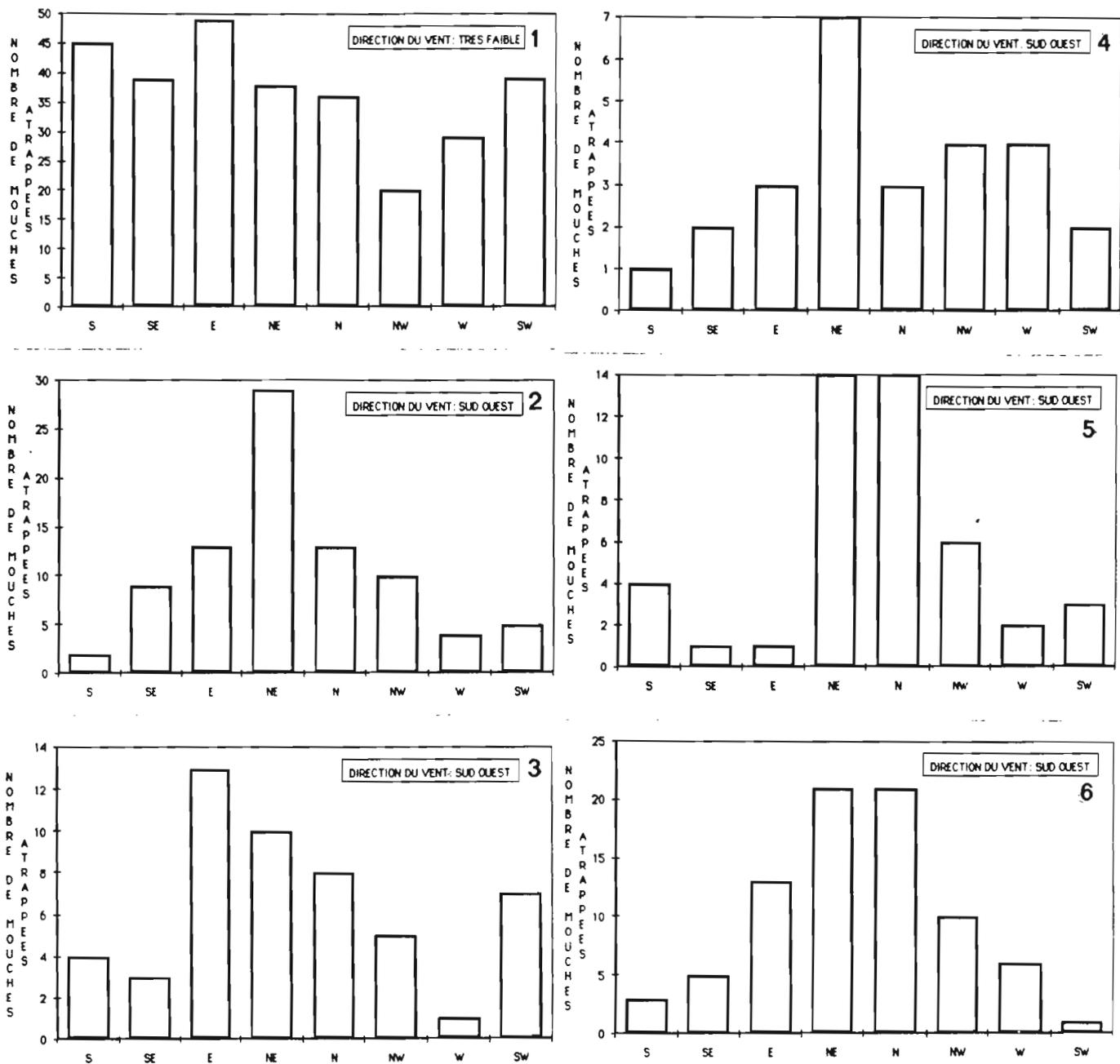


Figure 3.39 (1-6). Nombre de mouches blanches piégées par direction sur 6 pièges cylindriques par période de 2 heures pendant la journée : 6:30 - 8:30 H (1), 8:30 - 10:30 H (2), 10:30 - 12:30 H (3), 12:30 - 14:30 H (4), 14:30 - 16:30 H (5), 16:30 - 18:30 H (6). La direction du vent est indiquée. Date de comptage : 15 avril.

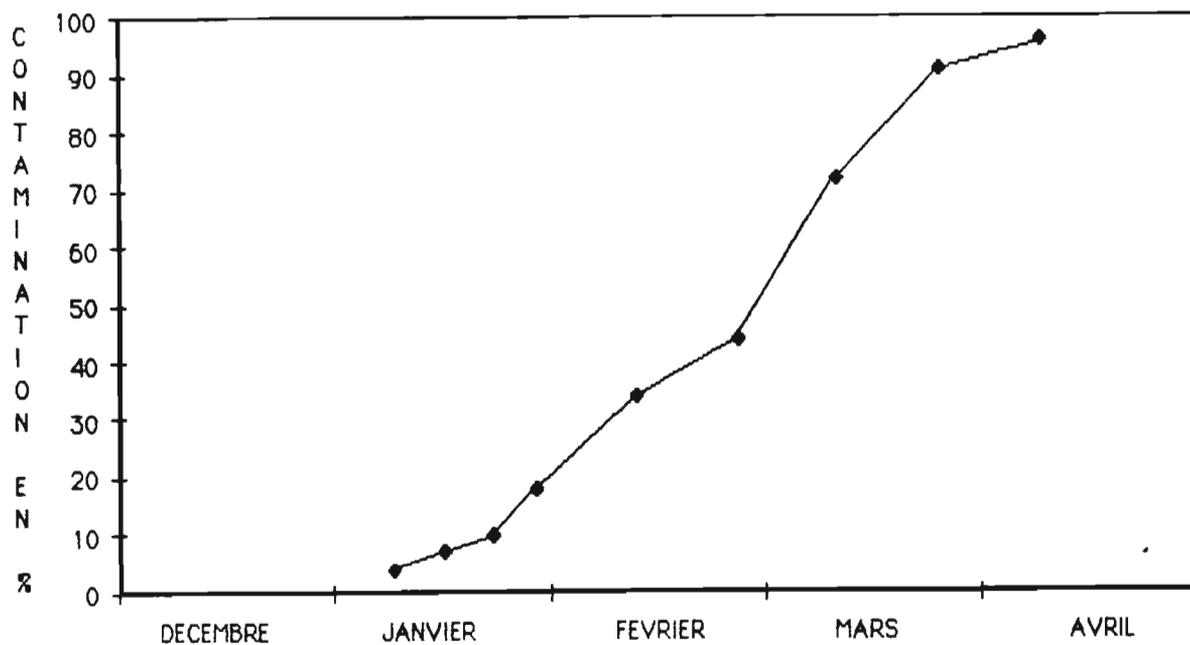


Figure 3.40. Evolution de la contamination du champ de manioc en %, au cours du temps (nombre de plantes : 4900).

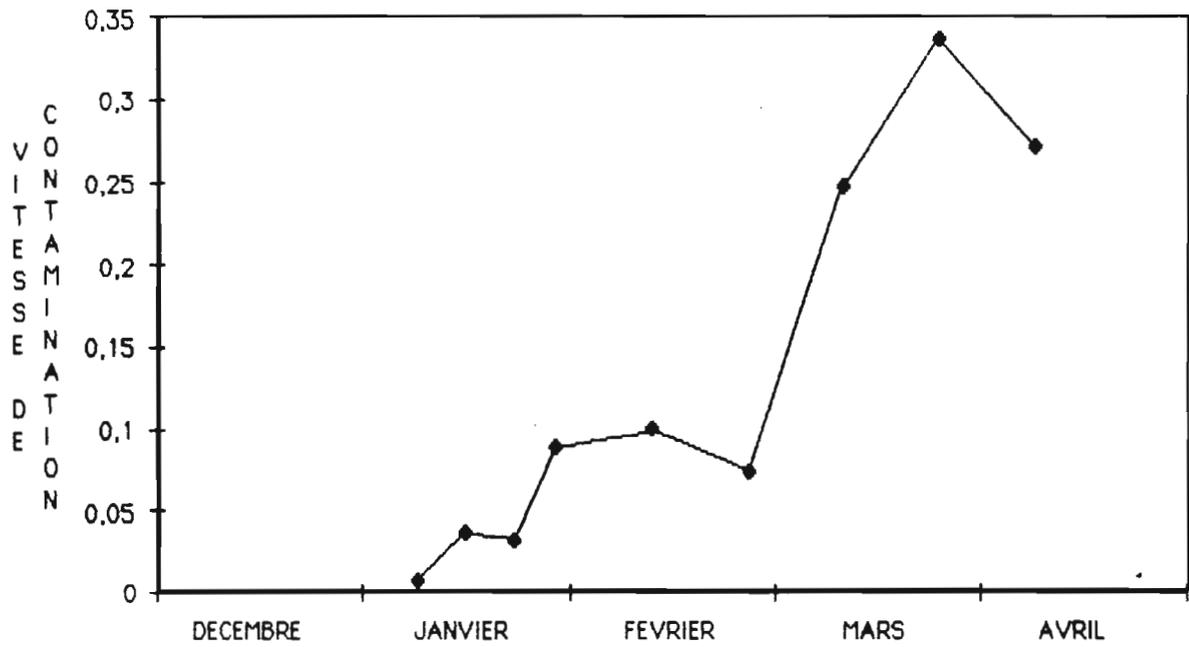


Figure 3.41. Vitesse de contamination $[(\% \text{ MALADE } t_2 - \% \text{ MALADE } t_1) / \% \text{ MALADE } t_1]$ par semaine au cours du temps.

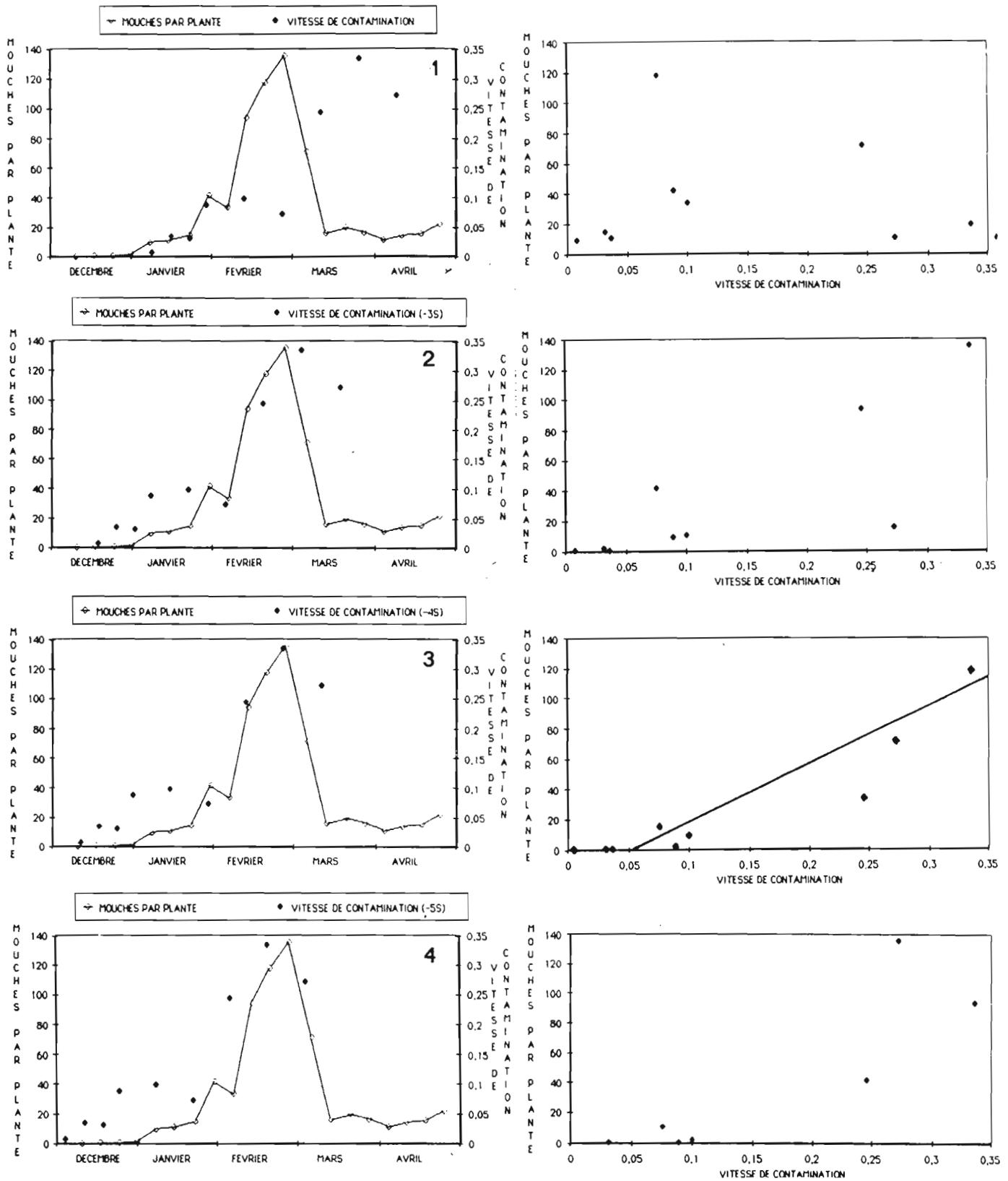


Figure 3.42 (1-4). Nombre de mouches blanches par plante et vitesse de contamination par semaine au cours du temps avec un écart entre les deux de 0, 3, 4, et 5 semaines (1-4), et corrélation correspondante (5-8).

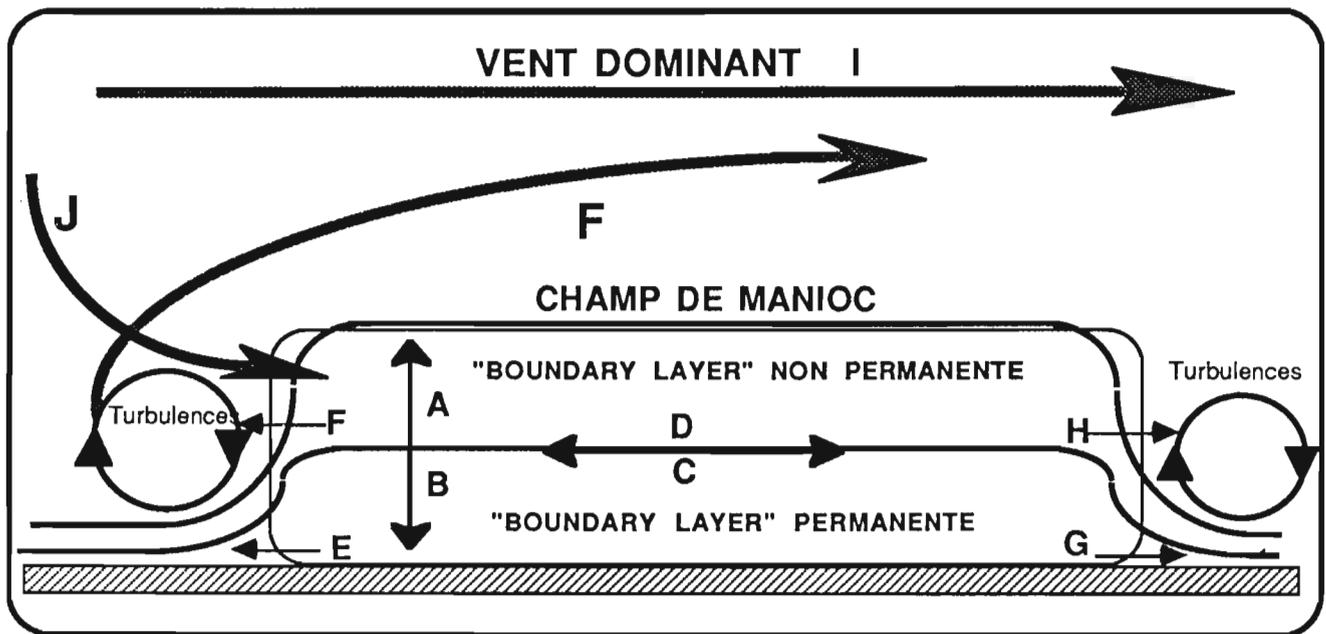


Figure 4.1. Mouvements des mouches blanches dans et en dehors du champ de manioc (explications des lettres dans le texte).