

L'analyse factorielle des correspondances appliquée à l'influence de deux nématodes sur la croissance de l'arachide et sa fixation symbiotique de l'azote

Gaétano GERMANI *, André CUANY ** et Georges MERNY ***

* Laboratoire de Nématologie, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar, Sénégal,

** Station de Recherches sur les nématodes, 123 Bd Francis Meilland, 06602, Antibes, France et

*** Laboratoire de Biologie des Sols, ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy, France.

RÉSUMÉ

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été appliquée aux résultats obtenus dans des essais de traitement nématicide sur arachide, au Sénégal, contre *Scutellonema cavenessi*, et en Haute-Volta, contre *Aphasmatylenchus straturatus*. Les observations portaient sur les populations de nématodes dans le sol et les racines et sur la fixation de l'azote (ARAP) par les bactéries symbiotiques. L'AFC a permis de mettre en évidence les liaisons des variables entre elles et, en visualisant sur une seule figure l'évolution des diverses variables dans le temps, de mieux comprendre la succession des événements au cours d'une campagne. Avec l'un et l'autre des parasites une liaison négative très forte existe entre la fixation de l'azote (ARAP) par les bactéries symbiotiques et les populations de nématodes. Il est évident que les parasites agissent à la fois directement sur la plante et, indirectement en diminuant la fixation symbiotique de l'azote.

SUMMARY

Factor analysis used to study the incidence of two nematodes on growth and nitrogen fixation of peanut

Trials have been carried out on peanut to control *Scutellonema cavenessi* in Senegal and *Aphasmatylenchus straturatus* in Upper-Volta. The observations concerned nematode populations in soil and roots and intensity of nitrogen fixation by symbiotic bacteria evaluated by the mean of acetylene reduction (ARAP) as well as number and weight of bacterial nodules. The results were studied using factor analysis (FA). A high proportion of the variations are explained by the two first factors. The FA has shown a linkage between some of the variables. In the same time, the projection of different points in a single plane made it possible to visualize the evolution of the variables during the growth and maturation of peanut. With both parasites, there is a strong negative linkage between nematode populations and nitrogen fixation. Points concerning treated plants, without nematodes, are rather steady and characterized by a strong ARAP. On the other hand, points concerning non-treated plants are very variable and generally characterized by a weak ARAP and high nematode populations. It is evident that parasites reduce peanut yield not only by a direct effect on the plant but also indirectly, by reducing nitrogen fixation.

L'analyse statistique d'un grand nombre de variables mesurées parallèlement sur des plantes attaquées par des nématodes (témoins) ou saines (traitées à l'aide de nématicides) est difficile parce qu'il est rare que ces variables soient distribuées suivant une loi normale (Roger, Germani & Reynaud, 1981) et observées sur un nombre suffisant de répétitions. De plus les techniques classiques ne permettent pas de tenir

compte de l'interdépendance des variables retenues.

Afin de mettre en lumière les liaisons existant entre diverses variables caractérisant à la fois la multiplication des nématodes, la croissance des plantes et la fixation symbiotique de l'azote les résultats de deux essais sur arachide ont été soumis à une analyse factorielle des correspondances (AFC) (Cuany & Rodolphe, 1980).

Matériel et méthodes

Les données de base ont été fournies par les résultats recueillis au cours de deux essais de traitement nématicide au DBCP réalisés sur arachide au Sénégal (Germani, 1979) et en Haute-Volta (Germani & Luc, 1982).

SÉNÉGAL

L'essai a été réalisé sur des surfaces infestées par *Scutellonema cavenessi* et semées avec trois cultivars d'arachide : 55-437 (cycle 90 jours), 28-206 et GH 119-20 (cycle 120 jours).

Au cours du cycle végétatif de l'arachide, à des intervalles d'environ quinze jours à compter du seizième jour après le semis, des séries de mesures ont été effectuées sur les parcelles traitées (donc sans nématode) et témoins. Ces mesures portaient sur : *i*) le nombre des nématodes du sol et des racines, *ii*) le nombre et le poids des nodules bactériens, *iii*) le poids des racines et des parties aériennes, *iv*) l'activité réductrice de l'acétylène par plante (ARAP).

Sur le cultivar 55-437 (cycle court) six séries de mesures (cinq répétitions) ont été effectuées à des époques diverses (1 à 6) tout au long du cycle de la plante ; sur les cultivars 28-206 et GH 119-20 (cycle long) les mesures ont été faites à huit époques (1 à 8) différentes (cinq répétitions).

HAUTE-VOLTA

L'essai était réalisé sur des surfaces infestées par *Aphasmatylenchus straturatus* qui ont été semées avec deux cultivars d'arachide : Kh 149 A (cycle 120 jours) et RMP 12 (cycle 150 jours). Les mesures effectuées à partir du 26^e jour après le semis à des intervalles réguliers de quatorze jours portaient sur : *i*) le nombre des nématodes du sol extrait des horizons 0-20, 20-40 et 40-60 cm, *ii*) le nombre de nématodes extraits des racines, *iii*) le poids des racines, *iv*) l'ARAP.

Sur le cv. Kh 149 A les mesures (six répétitions) ont été effectuées à cinq époques différentes (1 à 5) et sur le cv. RMP 12 à dix époques (1 à 10) (six répétitions).

MESURES

Les nématodes du sol ont été extraits par élutriation (Seinhorst, 1962) et, après comptage d'une partie aliquote, les populations étaient rapportées au dm³ de sol. Ceux des racines ont été extraits par aspersion (Seinhorst, 1950) et leurs populations rapportées à 100 g de racines.

L'ARAP exprimée en micromoles de C₂H₂ réduites en C₂H₄ par plante et par heure est une mesure indirecte de la fixation symbiotique de l'azote. La technique employée est celle de Hardy *et al.* (1968) modifiée (Germani, Diem & Dommergues, 1980).

INTERPRÉTATION

L'AFC permet de déterminer des axes ou facteurs principaux qui sont des combinaisons linéaires des variables quantitatives préalablement transformées en classes et permet la représentation sur un même graphique des observations aux diverses époques où les mesures ont été faites et des variables étudiées (A, B, C, D, E). Elle définit une notion de contribution qui permet la représentation sur les facteurs considérés des variables affectées d'une contribution relative élevée, celles dont la contribution relative est faible n'étant considérées que secondairement. Elle définit une notion de distance entre les observations et les variables : une observation « i » d'un ensemble d'observations « I » sera d'autant plus caractéristique d'une variable « J » que les points qui les représentent sont voisins sur le graphique. En définitive une AFC tient compte plus des valeurs relatives des données que de leur valeur absolue.

Résultats

COMPARAISON DE DIFFÉRENTS CULTIVARS (Sénégal)

La figure 1 présente les résultats obtenus au Sénégal avec trois cultivars et groupant toutes les observations. Chaque surface ombrée représente l'espace occupé par les points caracté-

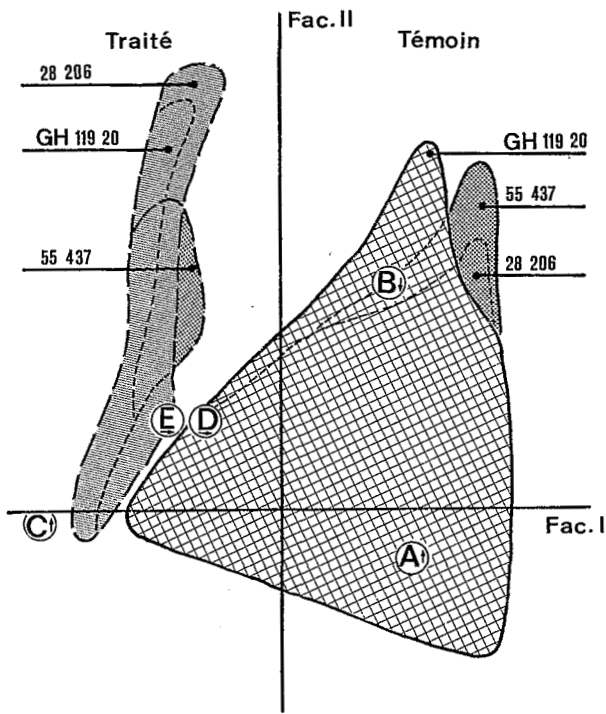


Fig. 1. Analyse factorielle des correspondances (AFC) des résultats d'essais de traitement contre *Scutellonema cavenessi* au Sénégal (cv. 55-437, 28-206 et GH 119-20). A = populations de nématodes dans les racines; B = populations de nématodes dans le sol; C = ARAP; D = poids des nodules bactériens; E = nombre de nodules bactériens. Les flèches indiquent le facteur sur lequel la variable est représentée.

Factor analysis (FA) of the observations made in control trials against Scutellonema cavenessi in Senegal (cv. 55-437, 28-206 and GH 119-20). A = nematode populations in roots; B = nematode populations in soil; C = nitrogen fixation (ARAP); D = weight of bacterian nodules; E = number of bacterian nodules. The arrows indicate the factor in which the variable is characterized.

sant, dans le plan défini par les axes I et II, les observations sur chacune des plantes composant un certain cultivar. Les points marqués C et A représentent respectivement, dans ce plan, les barycentres des observations concernant l'activité réductrice (ARAP) de l'acétylène et le nombre de nématodes extraits des racines. On constate que les surfaces englobant les observations chez les plantes traitées d'une part et non traitées d'autre part sont nettement séparées. La surface concernant les plantes traitées est plus réduite et les observations qu'elle con-

tient se caractérisent sur le facteur I, par une forte ARAP. La surface concernant les plantes non traitées est beaucoup plus étendue et se caractérise essentiellement, sur les deux facteurs, par de fortes populations de nématodes dans le sol et les racines. Il est remarquable que, tant chez les traités que chez les non-traités, on n'observe aucune différence d'un cultivar à l'autre. Dans ces conditions, on a pu limiter l'étude des paramètres de la croissance aux cultivars GH 119-20 du Sénégal et Kh 149 A (hâtif) et RMP 12 (tardif) de Haute-Volta.

OBSERVATIONS SUR LE CULTIVAR GH 119-20 (Sénégal)

Le nématode parasite est ici *Scutellonema cavenessi*. La figure 2 représente, sur le plan défini par les facteurs I et II, les variables (nombres de nématodes dans les racines (A) et dans le sol (B), ARAP (C), poids des nodules (D) et nombre de nodules (E)) et les observations effectuées à différentes dates. Ce plan explique 88% de la variabilité. Le facteur I (abscisses) caractérise les nématodes dans les racines et l'ARAP, qui s'opposent. Les plus fortes contributions à la définition du facteur II (ordonnées) sont données par les caractéristiques de la nodulation (nombre et poids des nodules) qui correspondent à des ordonnées positives. Les paramètres traduisant la croissance de la plante (poids des parties aériennes et des racines) ont une contribution faible mais sont également liés à l'axe II.

Les nuages de points correspondant aux observations individuelles sur les plantes sont représentés à la figure 2 par des surfaces ombrées. Les observations correspondant aux plantes traitées se trouvent vers la gauche de la figure. Elles ont toutes des abscisses négatives (ARAP forte, absence de nématodes). Les résultats obtenus au cours des six premières observations sont très homogènes et ont pu être groupés. Les ordonnées sont faibles. Par contre, les ordonnées des résultats obtenus au cours des observations 7 et 8 augmentent considérablement, ce qui semble traduire une forte augmentation du nombre et du poids des nodules, une diminution de l'efficacité nodulaire, et surtout une augmentation de la taille des plantes.

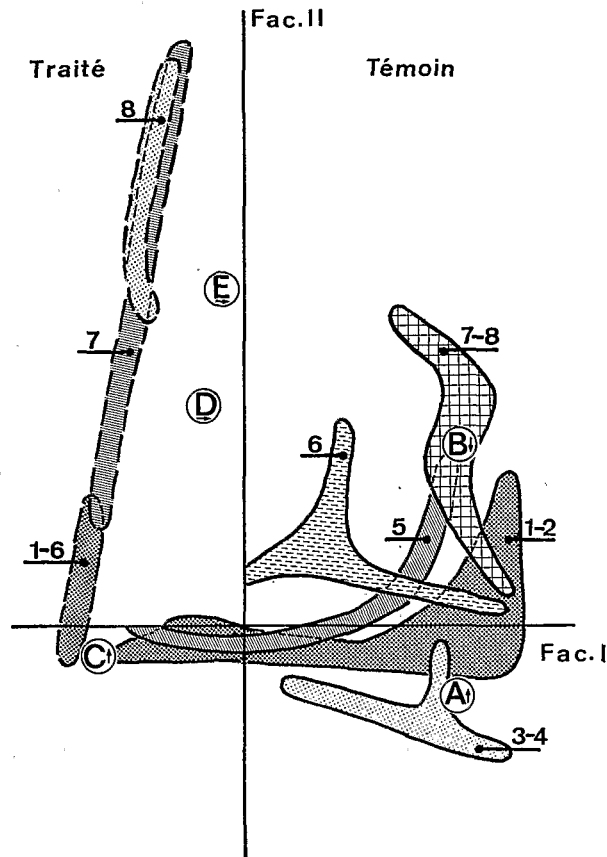


Fig. 2. Analyse factorielle des correspondances (AFC) des observations effectuées à huit périodes différentes au cours d'un essai de traitement contre *Scutellonema cavinessi* au Sénégal (cv. GH 119-20). A = populations de nématodes dans les racines; B = populations de nématodes dans le sol; C = ARAP; D = poids des nodules bactériens; E = nombre des nodules bactériens. Les flèches indiquent le facteur sur lequel la variable est représentée.

Factor analysis (FA) of the observations made at eight different periods in a control trial against *Scutellonema cavinessi* in Senegal (cv. GH 119-20). A = nematode populations in roots; B = nematode populations in soil; C = nitrogen fixation (ARAP); D = weight of bacterian nodules; E = number of bacterian nodules. The arrows indicate the factor on which the variable is characterized.

Par contre les groupements des points représentant les observations sur plantes non traitées, et qui se trouvent à droite de la figure, varient beaucoup d'une observation à l'autre. Au cours des deux premières observations le nuage de points s'étire horizontalement ce qui semblerait

indiquer que, chez un certain nombre de plantes, l'infection par les nématodes reste assez faible et, de ce fait, l'ARAP y est assez forte. Dans les observations 3 et 4, les résultats sont plus homogènes et se caractérisent par de fortes populations de nématodes dans les racines. D'une façon inattendue, les résultats de l'observation 5 ressemblent à ceux des deux premières et se groupent dans un nuage allongé horizontalement. On peut tenter d'expliquer ce fait par l'émission, chez de nombreuses plantes, de nouvelles racines dans lesquelles l'infection serait faible et l'ARAP relativement forte, ou plus probablement une sortie des nématodes hors des racines en même temps qu'une sensible augmentation de ceux du sol, ce que la position de la partie droite de la surface semblerait indiquer. Cette sortie des nématodes correspond à l'arrivée au stade L_4 des individus ayant pénétré à l'état de L_2 au moment de l'infection des racines, la 4^e mue et la reproduction devant avoir lieu dans le sol. Par rapport au précédent, le nuage de points de la 6^e observation, bien qu'encore assez étendu, présente une tendance à l'homogénéisation et à une diminution de l'ARAP. Enfin, le nuage groupant les observations 7 et 8 est caractérisé par sa liaison avec le nombre de nématodes dans le sol et son opposition avec l'ARAP. La sortie des L_4 s'étant poursuivie et l'infection par la génération suivante ne pouvant être importante du fait de l'état senescent des racines.

OBSERVATIONS SUR LE CULTIVAR KH 149 A (HÂTIVE HAUTE-VOLTA)

Le nématode parasite est ici *Aphasmatylenchus straturatus*. Les résultats sont représentés à la figure 3, dans un plan défini par les axes I et II, qui explique 88,4% de la variabilité. La variable ARAP (C) présente une contribution relative très forte (99%) sur l'axe I avec une composante négative (- 0,73). Elle s'oppose aux populations de nématodes dans l'horizon 40-60 cm du sol (B), dont la contribution relative sur cet axe est 80% avec une composante positive (+ 0,86). Sur l'axe II, les populations de nématodes dans l'horizon 0-20' (A) ont une contribution relative de 88% et celles dans les racines (D) une contribution relative de 41%.

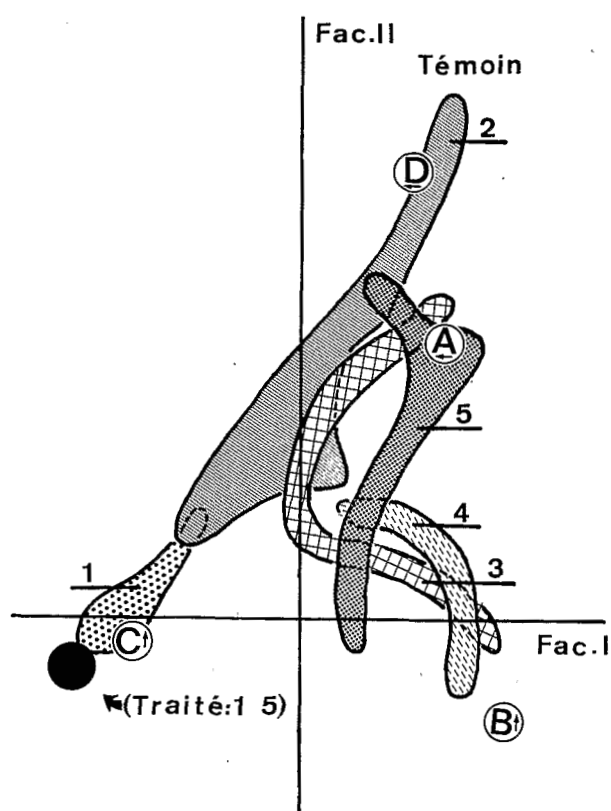


Fig. 3. Analyse factorielle des correspondances (AFC) des observations effectuées à cinq périodes différentes au cours d'un essai de traitement contre *Aphasmatylenchus straturatus* en Haute-Volta, sur un cultivar à cycle court (cv. Kh 149-A). A = nombre de nématodes dans l'horizon de sol 0-20 cm ; B = nombre de nématodes dans l'horizon de sol 40-60 cm ; C = ARAP ; D = nombre de nématodes dans les racines. Les flèches indiquent le facteur sur lequel la variable est représentée.

Factor analysis (FA) of the observations made at five different periods in a control trial against Aphasmatylenchus straturatus in Upper-Volta with a short cycle cultivar (cv. Kh 149-A). A = nematode populations in the soil layer 0-20 cm; C = nitrogen fixation (ARAP); D = nematode populations in roots. The arrows indicate the factor on which the variable is characterized.

Ces deux variables ont une ordonnée positive et sont probablement liées. Elles s'opposent à la variable représentée par les populations à l'horizon 40-60. Cette opposition est certainement due à la fois à la rapidité de la pénétration dans les racines et à un possible phénomène de migration verticale (Germani & Luc, 1982). Les

populations dans l'horizon 20-40 cm ont une contribution relative importante sur l'axe III non représenté ici.

Il serait faux de conclure que seules les populations de nématodes dans l'horizon 40-60 s'opposent à l'ARAP. Les populations dans les racines et l'horizon 0-20 ont, sur le facteur I une abscisse presque aussi importante que celle de l'horizon 40-60 et leur liaison négative avec l'ARAP ne fait pas de doute.

Les observations sur les plantes traitées sont exceptionnellement homogènes et groupées dans un nuage de points circulaire, de très petite dimension. Leurs principales caractéristiques sont une ARAP forte et l'absence de nématodes.

Les nuages de points représentant les résultats obtenus sur les plantes témoins au cours de cinq séries d'observations sont, par contre, très étendus. Celui représentant les résultats de la première observation a une très faible étendue et se trouve lié à la variable ARAP. Il est évident qu'à ce stade l'infection est faible et sans incidence sur le fonctionnement physiologique de la plante. La deuxième observation montre une nette tendance à l'enrichissement en nématodes des racines du sol en même temps qu'une diminution de l'ARAP. Cette tendance se poursuit au cours de la troisième observation avec un enrichissement de l'horizon profond qui pourrait indiquer le début d'une migration verticale. Le nuage de points représentant la quatrième observation est de faibles dimensions et fortement lié au point correspondant aux nématodes dans l'horizon profond. C'est au cours de cette observation que l'opposition entre traités et témoins est la plus nette.

La cinquième observation indique une remontée sensible des populations dans les racines, liées à celles de l'horizon superficiel.

OBSERVATIONS SUR LE CULTIVAR RMP 12 (TARDIF, HAUTE-VOLTA)

Le nématode parasite est *Aphasmatylenchus straturatus*. La définition des axes des figures 4, 5 et 6 sont les mêmes que pour le cultivar Kh 149 A, les contributions relatives et les dispositions des variables étant les mêmes.

Comme dans le cas précédent les observations sur les plantes traitées sont groupées dans un

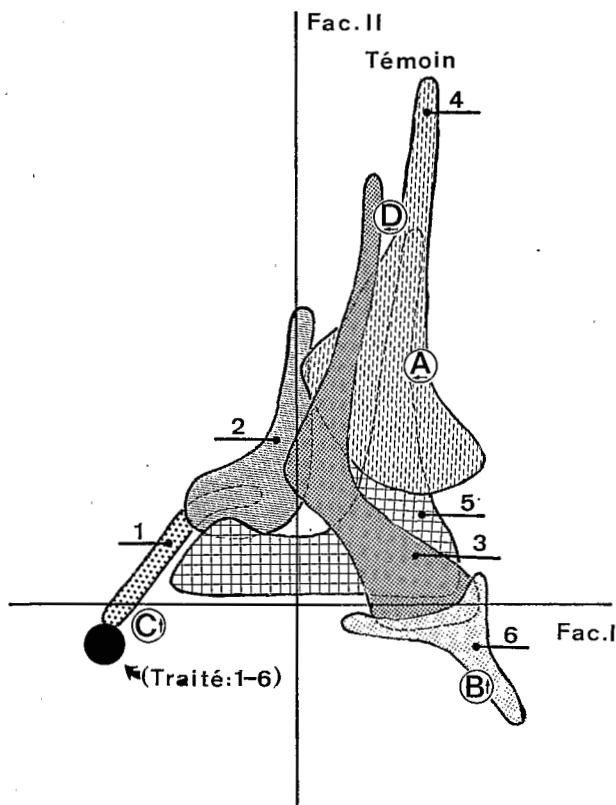


Fig. 4. Analyse factorielle des correspondances (AFC) des observations effectuées au cours de six périodes différentes pendant la première partie du développement de l'arachide (périodes 1 à 6), dans un essai de traitement contre *Aphasmatylenchus straturatus* en Haute-Volta, sur un cultivar à cycle long (cv. RMP-12). A = nombre de nématodes dans l'horizon de sol 0-20 cm; B = nombre de nématodes dans l'horizon de sol 40-60 cm; C = ARAP; D = nombre de nodules bactériens. Les flèches indiquent le facteur sur lequel la variable est représentée.

Factor analysis (FA) of the observations made during six periods included in the first part of peanut growth (periods 1-6) in a control trial against *Aphasmatylenchus straturatus* in Upper-Volta, with a long cycle cultivar (cv. RMP-12). A = nematode populations in the soil layer 0-20 cm; B = nematode populations in the soil layer 40-60 cm; C = nitrogen fixation (ARAP); D = number of bacterian nodules. The arrows indicate the factor on which the variable is characterized.

nuage de points très limité, ce qui traduit l'homogénéité de la variable ARAP en l'absence de nématodes.

Les résultats de la première observation sur les plantes témoins s'en écartent peu, l'infection

étant encore faible et sans effet. Ceux de la seconde observation s'en éloignent, ce qui traduit un début d'augmentation des populations de nématodes dans l'horizon superficiel et les racines. Ceux de la troisième observation sont, de très loin les plus hétérogènes mais indiquent l'amorce d'un enrichissement en nématodes à la fois des racines et de l'horizon profond, liés, chez les plants où ces tendances sont observées, à une chute brutale de l'ARAP. Les résultats des 4^e et 5^e observations correspondraient au début d'une migration verticale des nématodes, tendance qui s'accroît à la 6^e observation où les résultats sont les plus homogènes et les plus opposés à ceux sur plantes traitées et à la variable ARAP.

La figure 5 présente les résultats des 7^e, 8^e, 9^e et 10^e observations sur les plantes témoins non reverdissantes. On n'observe aucune évolution, chacune de ces observations n'étant pas différente de la 6^e (Fig. 4). On n'observe de nématodes que dans l'horizon profond et l'ARAP est pratiquement nulle.

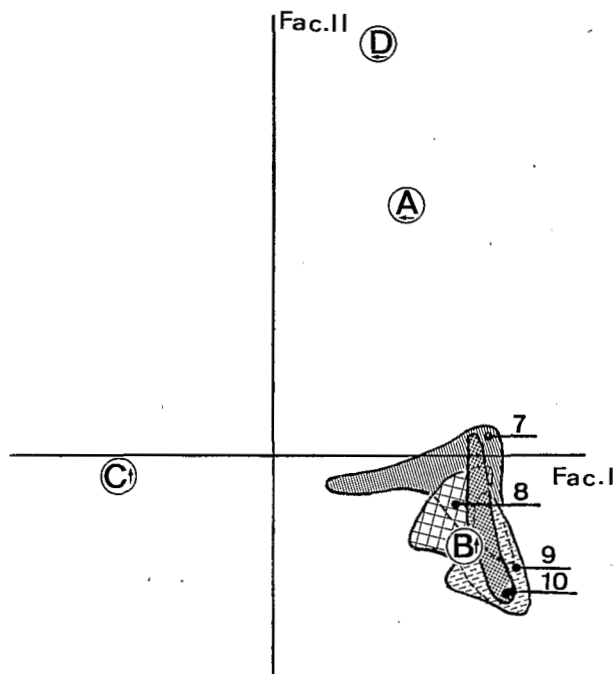


Fig. 5. Suite de la figure 4, périodes 7-10, plantes non reverdissantes.

Continuation of fig. 4, periods 7-10, plants not growing green again.

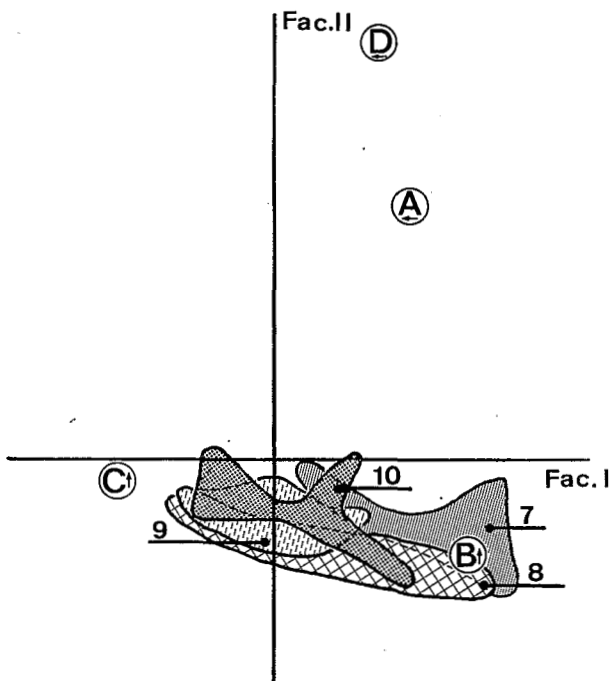


Fig. 6. Suite de la figure 4, périodes 7-10, plantes reverdissantes.

Continuation of Fig. 4, periods 7-10, plants growing green again.

Par contre, les résultats de ces mêmes observations sur plantes témoins reverdissantes (Fig. 6) présentent une nette évolution dans le sens d'une augmentation de l'ARAP tout en gardant une certaine liaison avec la variable « nématodes dans l'horizon profond ».

Discussion et conclusion

L'analyse factorielle des correspondances a permis de mettre en évidence les liaisons des variables entre elles et d'évaluer la force de ces liaisons. Dans le même temps la projection des divers points dans un plan bi-factoriel a permis de visualiser, sur une seule figure, l'évolution des diverses variables dans le temps. L'interprétation de l'AFC doit permettre de mieux comprendre la succession des événements au cours d'une campagne, dans une plantation d'arachide attaquée soit par *Scutellonema cave-*

nessi soit par *Aphasmatylenchus straturatus*. Les différences existant entre les deux espèces dans leurs modes parasitaires se sont reflétées à la fois dans leur développement et dans leur action sur la plante.

La position du nuage de points représentant les plantes traitées évolue dans le temps dans le cas de *S. cavenessi* alors qu'elle reste pratiquement inchangée dans celui de *A. straturatus*. Ceci doit pouvoir s'expliquer par le fait que dans le premier cas les poids et nombre des nodules avait été évalués avec exactitude alors que, dans le second, seule une cotation approximative avait été faite. Dans le cas de *S. cavenessi*, l'axe II était surtout défini par l'importance de la nodulation et il était naturel que les points représentant les plantes saines aient des ordonnées croissantes. Par contre, dans le cas de *A. straturatus*, la contribution relative des paramètres de la nodulation sur l'axe II était très faible et l'augmentation de la nodulation chez les plantes saines âgées ne se traduisait pas par une augmentation dans les ordonnées de leurs points représentatifs.

Dans les deux cas, la liaison la plus forte est constituée par l'antagonisme absolu entre l'ARAP et les populations de nématodes, spécialement dans les racines. Par contre, l'ARAP et les paramètres de la nodulation semblent varier de façon indépendante. Ceci peut s'expliquer par une action mécanique des nématodes sur l'efficacité des nodules existants. Par ailleurs il n'est pas exclu que l'aptitude des endomycorhizes à favoriser la fixation de l'azote atmosphérique influe sur cette liaison entre la nodulation et l'ARAP. (Mosse, Powell & Hayman, 1976 ; Daft & El Giani, 1978.)

Il est donc évident que, dans les deux cas, les baisses de rendements observées en présence de fortes populations de nématodes (Germani & Dhery, 1973 ; Germani, 1979), si elles peuvent être attribuées, en partie à l'action directe de ceux-ci, sont dues également à la forte diminution, provoquée par les parasites, de la fixation symbiotique de l'azote.

REFERENCES

- CUANY, A. & RODOLPHE, F. (1980). A procedure for collecting and interpreting data from field experiments with nematicides. *Revue Nématol.*, 3 : 37-50.

- DAFT, M. T. & EL GIANI, A. A. (1978). Studies on nodulated and mycorrhizal peanuts. *Ann. appl. Biol.*, 83 : 273-276.
- GERMANI, G. (1979). Action directe et rémanente d'un traitement nématicide du sol sur trois cultivars d'arachide au Sénégal. *Oléagineux*, 34 : 399-404.
- GERMANI, G. & DHERY, M. (1973). Observations et expérimentations concernant le rôle des nématodes dans deux affections de l'arachide en Haute-Volta : la "chlorose et le clump" *Oléagineux*, 28 : 235-242.
- GERMANI, G., DIEM, H. G. & DOMMERGUES, Y. R. (1980). Influence of 1-2 dibromo-3-chloropropane fumigation on nematode population, mycorrhizal infection, N₂ fixation and yield of field-grown groundnut. *Revue Nématol.*, 3 : 75-78.
- GERMANI, G. & LUC, M. (1982). Etudes sur la "chlorose voltaïque" des légumineuses due au nématode *Aphasmatylenchus straturatus* Germani I. *Revue Nématol.*, 5 : 139-146.
- HARDY, R. W. F., HOLSTEIN, R. D., JACKSON, E. K. & BURNS, R. C. (1968). The acetylene reduction assay for N₂-fixation laboratory and field evaluation. *Pl. Physiol.*, 43 : 1185-1207.
- MOSSE, B., POWELL, C. L. I. & HAYMAN, D. S. (1976). Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IX. Interactions between VA mycorrhize, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. *New Phytol.*, 76 : 331-342.
- ROGER, P., GERMANI, G. & REYNAUD, P. (1981). Etude de la robustesse de la transformation logarithmique sur les dénombrements d'organismes telluriques. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, n° 43 : 75-81.
- SEINHORST, J. W. (1950). De betekenis van de grond voor het optreden van aanstasting door het stengelaaltje (*Ditylenchus dipsaci* (Kühn) Filipjev) *Tijdschr. PLZiecht.*, 56 : 291-349.
- SEINHORST, J. W. (1962). Modifications of the elutriation method for extracting nematodes from soil. *Nematologica*, 8 : 117-128.

Accepté pour publication le 3 novembre 1981.