



HAL
open science

Le dessèchement précoce des tournesols. Dynamique de la colonisation des plantes par les champignons du sol et envahissement tardif par *Macrophomina phaseolina*

E. Saumon, M. Herbach, B.K. Goore, P. Davet

► To cite this version:

E. Saumon, M. Herbach, B.K. Goore, P. Davet. Le dessèchement précoce des tournesols. Dynamique de la colonisation des plantes par les champignons du sol et envahissement tardif par *Macrophomina phaseolina*. *Agronomie*, 1984, 4 (9), pp.805-812. hal-02719226

HAL Id: hal-02719226

<https://hal.inrae.fr/hal-02719226>

Submitted on 1 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le dessèchement précoce des tournesols. Dynamique de la colonisation des plantes par les champignons du sol et envahissement tardif par *Macrophomina phaseolina*

Elisabeth SAUMON, Michel HERBACH, Bi Kouakou GOORE & Pierre DAVET

I.N.R.A., Laboratoire de Biologie et Pathologie végétales de l'ENSA, F 34060 Montpellier Cedex

RÉSUMÉ

On a suivi l'évolution de la colonisation des racines du tournesol par les champignons du sol, depuis la levée jusqu'à la récolte. Après une courte période de sensibilité aux *Pythium*, les racines demeurent saines jusqu'à un moment critique qui débute environ 80 j après le semis. On assiste alors à une invasion massive du cortex, non seulement par *Macrophomina phaseolina*, mais aussi par divers *Fusarium* et *Cylindrocarpon*. Cette période coïncide, d'une part, avec l'installation de températures relativement élevées dans le sol, mais aussi, d'autre part, avec l'arrêt du développement du système racinaire. L'invasion des tiges a lieu un peu plus tard, tout aussi brutalement, au moment de la maturation des graines.

Mots clés additionnels : *Helianthus annuus L.*, *Fusarium spp.*, *Cylindrocarpon spp.*, *Pythium spp.*, racines, tiges, stade critique.

SUMMARY

Charcoal rot of sunflower : dynamics of colonization by soil-borne fungi and late invasion by Macrophomina phaseolina

The colonization of sunflower roots by soil-borne fungi was studied in the field, from emergence to harvest. After a period of susceptibility to *Pythium* spp., roots remained almost uncolonized until a critical stage, which began about 80 days after sowing (fig. 1). Then a severe invasion of the root cortex was observed, due not only to *M. phaseolina* (fig. 3), but also to several *Fusarium* spp. and *Cylindrocarpon* spp. (fig. 2). This period coincided with the occurrence of rather high soil temperatures, and also with the stopping of root system development. Mixed inoculations did not reveal any interaction between *M. phaseolina* and *Fusarium* or *Cylindrocarpon* spp. (table 2). Stem colonization took place a little later, also suddenly, at ripening time (fig. 4).

Additional key words : *Helianthus annuus L.*, *Fusarium spp.*, *Cylindrocarpon spp.*, *Pythium spp.*, roots, stems, critical physiological stage

I. INTRODUCTION

La présence de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., signalée en Yougoslavie en 1962 par ACIMOVIC, est connue en France depuis le début des années 70 (ALABOUVETTE & BREMEERSCH, 1975). Le champignon est associé à un rabougrissement et à un dessèchement précoce accompagné d'échaudage et à une rétraction des tissus internes de la tige. La moelle se dissocie en disques horizontaux qui s'effritent ultérieurement. Dans ces zones de pourriture sèche apparaissent des microsclérotés. Les bases de tiges ainsi

évidées peuvent se rompre au moment de la récolte. La proportion de plantes atteintes, dans le sud de la France, varie de 15 à 40 p. 100 selon les années (enquêtes du Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains : CETIOM). Cette maladie est considérée comme grave en Amérique du Sud (SACKSTON, 1981) et dans les régions méditerranéennes (JIMÉNEZ-DIAZ *et al.*, 1983). Cependant, en France, le rôle de *M. phaseolina* dans le syndrome du dessèchement précoce ne paraît pas clairement établi, car on n'observe généralement ce champignon sur les tournesols qu'en fin de cycle. A ce stade, on isole à

partir des racines non seulement *M. phaseolina* mais aussi une forte proportion de *Fusarium* spp. et de *Cylindrocarpon* spp., parfois même des *Pythium* spp. (MESSIAEN, 1977) et l'on peut se demander si cette flore précède, accompagne, ou suit *M. phaseolina*. Après avoir semé des tournesols dans de la terre artificiellement contaminée, MESSIAEN (1978) aboutit à la conclusion que, parmi les composants de cette microflore, seuls les *Pythium* sphérosporangés semblent capables de provoquer des nécroses appréciables des racines, entraînant un retard de croissance observable jusqu'à la fin de la culture. Il suggère (comm. pers.) que des infections précoces par les *Pythium* spp. pourraient favoriser l'installation ultérieure de *M. phaseolina*.

Pour vérifier si l'invasion de *M. phaseolina* est précédée par l'installation d'autres parasites, nous avons donc décidé d'étudier la colonisation des racines du tournesol par la flore fongique du sol, du début à la fin de son développement, en prêtant une attention particulière aux *Pythium* spp.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Lieux de prélèvements et d'essais

Les observations sur le terrain et la plupart des essais de plein champ ont été faits dans le Lauragais.

Pour l'étude de la colonisation des racines, les prélèvements ont été effectués, à l'occasion de 7 passages dans 3 parcelles différentes, à Fourquevaux, et dans 2 parcelles, à Avignonet-Lauragais. Ces terrains, situés sur des côtes orientés vers le sud, ont été subdivisés en 2 zones : l'une, en haut de pente, correspond à des affleurements de calcaire mollassique en partie dégagés par l'érosion ; l'autre, en bas de pente, est plus fraîche, plus profonde et plus riche en éléments fins. Douze plantes, sectionnées au-dessus du collet, ont été arrachées au hasard à l'aide d'une bêche dans chaque site lors des 2 premiers passages, 8 plantes aux 3^e et 4^e passages, 6 plantes ensuite.

Pour la recherche des *Pythium* en début de végétation, les échantillons ont été prélevés dans des terrains horizontaux ou à proximité de cours d'eau (régions d'Aigrefeuille, Orens, Aurin, Quint et Tarabel). Des échantillons ont été récoltés parallèlement à Castelnaudary, sur les terrains de la Coopérative Agricole du Lauragais où, par ailleurs, les expérimentations ont été réalisées. Enfin, les essais en pots ont été mis en place à l'École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.

B. Variétés de tournesol

Les observations ont porté, en 1981 et 1982, sur la var. « Mirasol » (semi-précoce), couramment cultivée dans la région, et, en 1983, sur la var. « Rodéo » (semi-précoce). Le précédent cultural est généralement un blé. Ces 2 variétés ont également été employées pour les essais en plein champ. Pour les essais en pots, nous avons utilisé les var. « Primasol » (précoce), « Rodéo », et l'hybride « A 125 × B 133 » (semi-précoce). Les semences nous ont été fournies par

Monsieur Piquemal, Station d'Amélioration des Plantes, I.N.R.A., Montpellier.

C. Isolements et milieux de culture

Les racines sont lavées à l'eau, puis désinfectées superficiellement à l'hypochlorite de sodium à 5 p. 100 et rincées à l'eau stérile. Des fragments de 3 à 4 mm sont mis en culture sur milieu S de MESSIAEN & LAFON (1965), additionné de bénomyl (100 mg/l) pour la recherche des *Pythium*, ou d'acide citrique (150 mg/l) et de sulfate de streptomycine (50 mg/l) pour le reste de la microflore. Les additifs sont incorporés tels quels après l'autoclavage des milieux.

Afin de suivre l'évolution de la colonisation des autres organes du tournesol, des fragments de pivot, de collet et de la base de la moelle sont éventuellement prélevés, sur les mêmes plantes, et déposés sur le milieu nutritif, après lavage à l'eau et flambage superficiel à l'alcool.

Les cultures sont observées après 8 à 12 j d'incubation à 24 °C. De 60 à 200 fragments sont mis en culture pour chaque catégorie de prélèvement.

D. Infections expérimentales

Pour les *Pythium*, les essais sont réalisés dans des pots en matière plastique de 8 cm de hauteur. On répartit dans ces pots de la vermiculite, sur une épaisseur de 3 cm. On y dépose ensuite une rondelle de milieu gélosé, prélevée dans une boîte de Petri ensemencée 8 j auparavant avec une souche de *Pythium*. Le diamètre de la rondelle correspond à celui du pot. On complète enfin le remplissage du pot avec de la vermiculite.

Des plantules de tournesol, préalablement mises en germination sur un lit de vermiculite humidifiée, sont repiquées, à raison de 5 par pot, au stade « cotylédons étalés ». Il y a 10 pots pour chaque traitement. Les pots sont d'abord arrosés avec 50 ml de solution de Knop, puis sont maintenus humides par des apports d'eau réguliers. Les plantules sont ou bien cultivées pendant 1 mois dans une chambre climatisée, à la température de $25 \pm 1,5$ °C, ou bien maintenues un mois, en automne, dans une serre non chauffée, puis ramenées à 25 °C pendant 10 j. Les tournesols sont alors dépotés, lavés et notés, et des fragments de racines sont mis en culture.

Dans un autre essai, 10 champignons, considérés comme représentatifs de la microflore des racines du tournesol, sont inoculés en association avec *M. phaseolina*. Ce sont : *Cylindrocarpon* sp. (3 souches), *Fusarium moniliforme* (Sheld.) Sn. et H., *Fusarium roseum* (Link) Sn. et H. var. *culmorum* (Schwabe) Sn. et H. (2 souches), *Fusarium solani* (Mart.) (App. et Wr.) Sn. et H., *Phoma* sp. (2 souches) et *Pyrenochaeta terrestris* (Hansen) Gorenz. L'inoculum est multiplié dans des sacs plastiques autoclavables contenant 200 g de vermiculite, 100 g de farine d'avoine et 500 ml d'eau. Après un mois d'incubation à 28 °C (*M. phaseolina*) ou à la température du laboratoire (autres espèces), il est incorporé au sol de culture (2/3 de terre + 1/3 de tourbe) préalablement désinfecté à la vapeur pendant 20 mn. Pour chaque souche, on mélange le contenu de 2 sacs ensemencés et de 2 sacs

de *M. phaseolina* (2 souches différentes) avec 60 l de terre. On prépare également un lot de 60 l de terre inoculée avec les 2 souches de *M. phaseolina* seulement et un lot témoin non inoculé. Chacun des lots est réparti dans 12 pots de 5 l. Deux tournesols, semés dans la vermiculite, comme dans l'essai précédent, sont repiqués au même stade dans chacun des pots. Les pots, recouverts d'un paillage pour éviter un échauffement excessif de la terre, sont disposés en plein air, en blocs « randomisés ». L'une des 2 plantes est déracinée avec précaution alors que le bouton floral mesure 35 mm de diamètre, l'autre en fin de culture.

Nous avons également inoculé *M. phaseolina* à des plantes adultes, en utilisant la méthode dite des cure-dents. Des cure-dents en bois sont autoclavés dans des boîtes de Petri contenant quelques ml de milieu S non gélosé. Un implant de *M. phaseolina* est déposé dans les boîtes, qui sont maintenues à 28 °C. Après une douzaine de jours, les bâtonnets sont entièrement colonisés et recouverts de sclérotés. L'inoculation est réalisée en enfonceant les cure-dents dans des trous forés à la hauteur choisie à l'aide d'une mini-tarière. Nous comparons 2 niveaux d'inoculation : dans le pivot, à 5 cm au-dessous du collet, et dans la tige, à 10 cm au-dessus du sol. Trois séries d'inoculations sont ainsi pratiquées, à 15 j d'intervalle, à partir du 21 juin ; elles concernent chaque fois, pour chaque traitement, 20 plantes réparties au hasard dans une parcelle. La moitié de chaque lot est arrachée et notée 1 mois après avoir été inoculée ; le reste des plantes est observé en fin de cycle.

III. RÉSULTATS

A. Présence de *Pythium* spp. en début de végétation

En utilisant le milieu d'isolement au bénomyl, nous avons mis ces parasites en évidence dans 5 des 9 sites

visités, au cours d'une prospection réalisée en mai 1982 dans la région de Toulouse. Un petit nombre seulement des plantules de chaque prélèvement (10 p. 100 en moyenne) était infecté. Tous les isollements se rattachent au groupe des *P. ultimum*. Ces champignons risquent de passer inaperçus si l'on n'emploie pas un milieu sélectif, tel que le milieu au bénomyl : nous n'en avons obtenu qu'un seul isolat, sur 10 000 fragments de racines mis en culture, lors de nos prélèvements de 1981 dans le Lauragais, sur d'autres sites il est vrai.

B. Vérification du pouvoir pathogène des *Pythium*

Les plantules (variété « Rodéo ») maintenues à 25 °C ne montrent aucun retard de croissance et leurs racines ont une apparence parfaitement saine, bien qu'il soit possible d'en réisoler chacune des 16 souches inoculées. Par contre, lors de l'essai réalisé en automne, à basse température, 9 des souches de *Pythium* provoquent des nécroses du pivot et des racines secondaires, accompagnées ou non de réduction de croissance (tabl. 1). Avec la souche la plus agressive, la hauteur des plantules (hybride A 125 × B 133) représente 64 p. 100 de la hauteur des témoins. Trois des isolats de *P. ultimum* ne provoquent aucun symptôme. Quatre souches de *Pythium* (groupe *arrhenomanes*) isolées sur racines de maïs et pathogènes pour cette plante, sont sans effet sur les tournesols, mais peuvent néanmoins être réisolées à partir des racines.

C. Evolution de la colonisation des racines

En plein champ, l'évolution est identique pour tous les lieux de prélèvement, de sorte que nous présenterons seulement ici les graphiques correspondant à la région de Fourquevaux.

TABLEAU 1

Résultats des infections de plantules par les *Pythium ultimum* isolés sur tournesol et par des *P. arrhenomanes* isolés sur maïs (50 plantules pour chaque souche ; température moyenne : environ 15 °C).

Results of inoculations of seedlings with *P. ultimum* isolated from sunflower and with *P. arrhenomanes* from maize (50 seedlings in each treatment ; mean temperature : about 15 °C).

Origine		Hauteur moyenne des plantes (cm)	Etat des racines
Tournesol	Aigrefeuille b1	36,6	nécrose du pivot et de racines secondaires
	Aigrefeuille b2	42,8	id.
	Aigrefeuille b3	38,6	id.
	Aigrefeuille c	42,6	id.
	Tarabel b	52,4	id.
	Tarabel b1	50,7	id.
	Tarabel b4	49	racines saines
	Tarabel b2	52,7	quelques racines brunes
	Quint b	48,4	id.
	Quint b1	63,5	racines saines
	Quint b2	50,4	quelques racines brunes
	La Valette	57,3	racines saines
Maïs	souche H. Rouhani 24	49,2	très légers brunissements
	souche H. Rouhani 27	58,1	racines saines
	souche H. Rouhani 31	59,2	id.
	souche H. Rouhani 47	48,2	id.
Témoins non inoculés		57,3	racines saines

La flore fongique des racines demeure quantitativement très pauvre pendant les 2 premiers mois qui suivent le semis. On note ensuite, 75 à 80 j après le semis, une progression du nombre de champignons isolés (fig. 1). La colonisation des racines augmente ensuite très rapidement et elle est totale en fin de cycle, la plupart des fragments mis en culture pouvant alors fournir plusieurs champignons différents. Les racines des plantes situées en haut de pente sont tou-

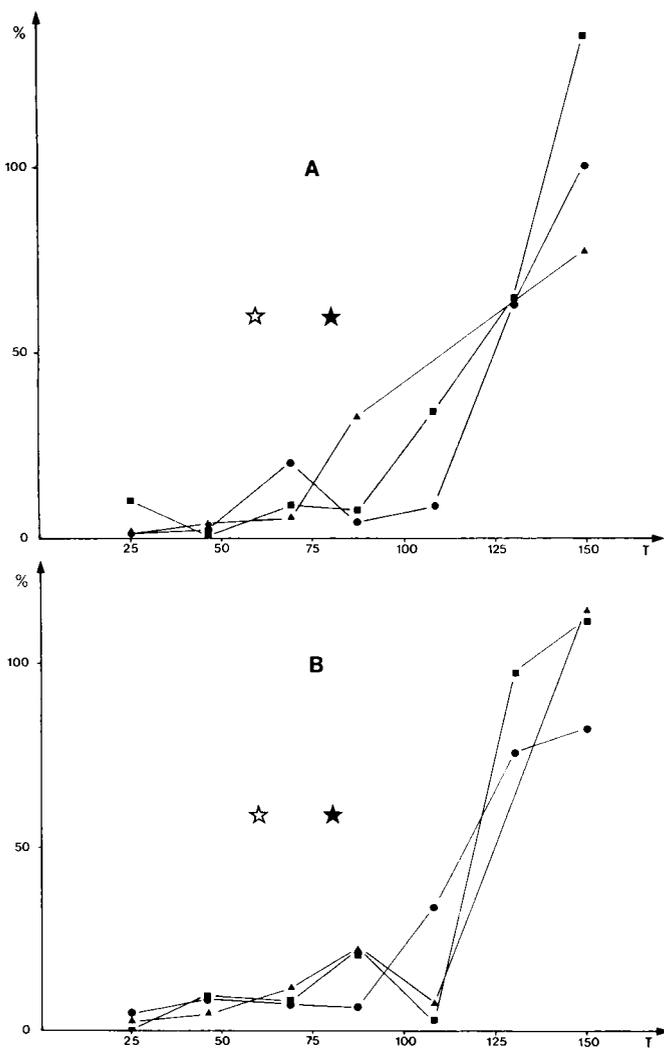


Figure 1

Evolution, en fonction du temps, de la mycoflore totale présente sur les racines dans 3 champs de tournesol (variété « Mirasol ») à Fourquevaux. Les résultats sont exprimés en pourcentage de thalles isolés par rapport au nombre de fragments de racines mis en culture. Chaque symbole caractérise un champ. La figure 1A correspond à la partie du champ située en haut de pente, la figure 1B correspond aux bas de pente. Le temps est compté en jours à partir du semis. La levée a eu lieu 9 à 10 j après le semis. Le début de la floraison est indiqué par le symbole ☆. Le symbole ★ marque le dessèchement des fleurs ligulées et le début de la maturation.

Development with time of the total mycoflora present on sunflower (cv. "Mirasol") roots in 3 fields, in Fourquevaux. Results represent the percentages of observed thalli, calculated in relation to the number of root fragments incubated. Each symbol distinguishes a field. The part of each field which corresponds to the top of the slope is illustrated in figure 1A ; the portion situated at the foot of the slope is illustrated in figure 1B. Time is expressed as days from sowing date. Seedlings emerged 9-10 days after sowing. The beginning of flowering is indicated by symbol ☆. Symbol ★ represents flower withering and beginning of ripening.

jours plus fortement envahies que les racines provenant des bas de pente (comparer les fig. 1A et 1B). Cette flore est assez peu variée. En début de végétation, on isole des champignons peu caractéristiques dont la présence paraît accidentelle car elle ne concerne chaque fois qu'un très petit nombre de fragments de racines : *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Chaetomium*, *Humicola*, *Penicillium*, *Stemphylium*, *Trichoderma*, etc... On trouve également quelques espèces de *Phoma* et *Pyrenochaeta terrestris*. Ces champignons laissent peu à peu la place aux *Cylindrocarpon* et aux divers *Fusarium* : *F. moniliforme*, *F. oxysporum* (rare), *F. roseum* var. *culmorum* et var. *equiseti* et *F. solani* (fig. 2). Les *Fusarium* et les *Cylindrocarpon* peuvent représenter, dans les dernières semaines, plus de la moitié des espèces isolées.

M. phaseolina est très rarement présent sur les racines pendant toute la 1^{re} phase du développement du tournesol. Sa présence ne devient notable que vers 110 j après le semis dans les échantillons des hauts de pente et vers 120 j après le semis dans les échantillons de bas de pente (fig. 3). Le taux de colonisation s'élève brutalement en fin de végétation, surtout dans les zones caillouteuses. Un même fragment de racine fournit alors, souvent, simultanément *M. phaseolina* et un *Fusarium*.

D. Colonisation des tiges

Alors que les racines sont déjà fortement envahies par les *Fusarium* et les *Cylindrocarpon*, le pivot, le collet et la moelle demeurent presque indemnes jusqu'au 112^e j après le semis (fig. 4). On assiste alors à une progression extrêmement rapide de ces champignons. On observe au même moment une invasion tout aussi brutale des racines et de la tige par *M. phaseolina*, déjà présent discrètement depuis 3 à 4 semaines dans le système racinaire. Les sclérotés caractéristiques de *M. phaseolina* n'apparaissent dans la moelle que 3 semaines plus tard environ.

E. Inoculations combinées avec *M. phaseolina*

Les plantes arrachées en cours de végétation (stade bouton floral) ont un aspect sain ; on peut cependant mettre en évidence les champignons, dans leurs lots respectifs, dans une proportion notable des fragments de racines mis en incubation. En fin de culture, tous les systèmes racinaires sont en mauvais état, même chez les témoins. Ces nécroses paraissent dues pour une bonne part à la sénescence naturelle du système racinaire (phénomène sur lequel nous reviendrons dans la discussion) accélérée par les conditions de culture en pots. Les associations *M. phaseolina* + *Cylindrocarpon* paraissent causer des nécroses un peu plus importantes, mais les différences avec les plantes non inoculées ne sont pas significatives (tabl. 2). *M. phaseolina* est visible sur les racines dans toutes les séries inoculées, mais on l'observe dans la moelle de quelques plantes seulement. Il n'y a aucune relation apparente entre son abondance sur les racines et sa présence dans les tiges.

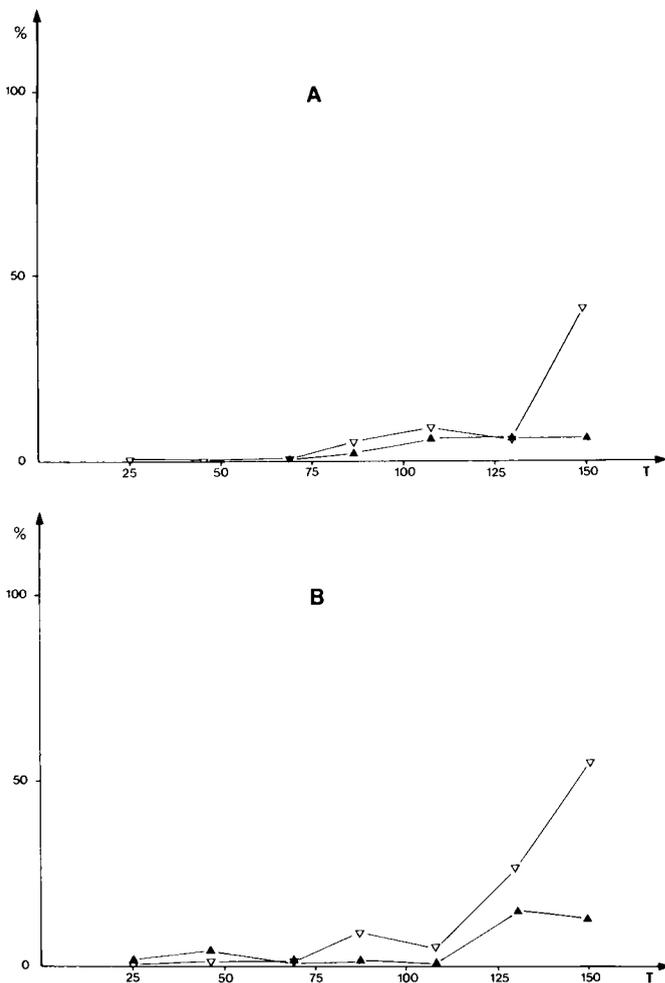


Figure 2

Evolution de la colonisation des racines par les *Fusarium* (▽) et les *Cylindrocarpon* (▲), à Fourquevaux. Pour simplifier la représentation, les données des 3 parcelles ont été regroupées. Les résultats sont exprimés en pourcentage de thalles par rapport au nombre de fragments de racines mis en culture. Le temps, en jours, est compté à partir du semis. La figure 2A correspond aux hauts de pente, la figure 2B aux bas de pente.

Colonization of sunflower roots by *Fusarium* (▽) and *Cylindrocarpon* (▲) species, in Fourquevaux. The data from the 3 fields have been combined, in order to simplify the diagram. Results represent the percentages of observed thalli, calculated in relation to the number of root fragments incubated. Time is expressed as days from sowing date. Slope tops are illustrated in figure 2A, bottoms in figure 2B.

F. Inoculation de *M. phaseolina* dans les tiges

Les plantes inoculées dans le pivot sont toujours moins rapidement et moins profondément attaquées que les plantes inoculées directement dans la tige (tabl. 3). La rapidité de développement des lésions dans la moelle, pendant le 1^{er} mois qui suit l'inoculation, dépend de l'âge de la plante au moment du traitement : d'abord faible à nulle avant la floraison, la vitesse augmente au fur et à mesure que l'on approche de la maturation. Chez des plantes jeunes (1^{re} série), la moelle est infectée facilement si le champignon y est introduit directement, mais pas si l'inoculation est réalisée au-dessous du collet.

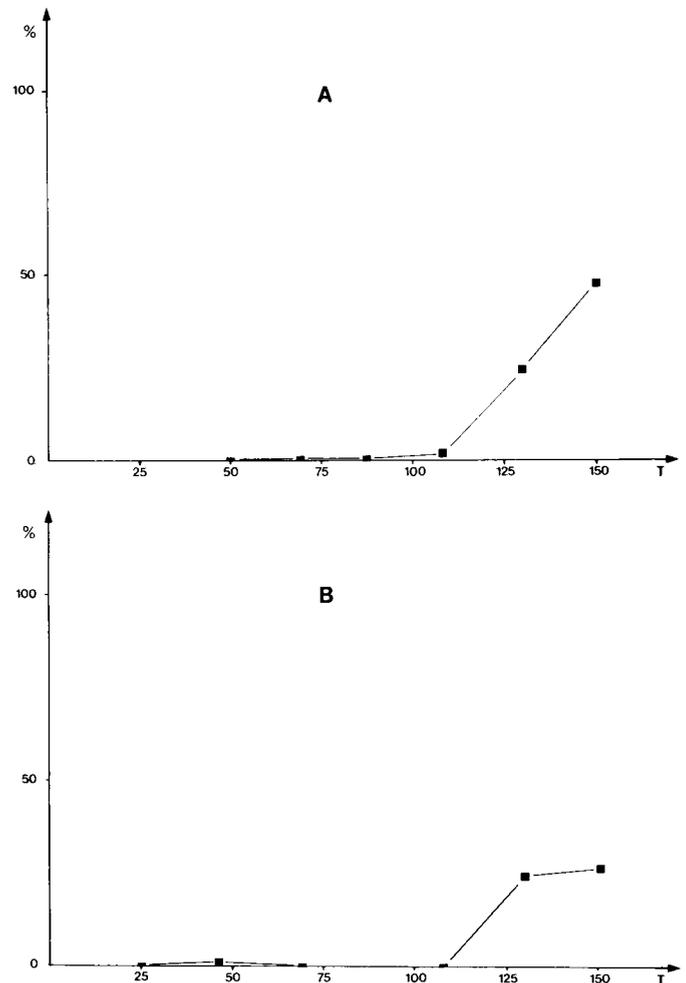


Figure 3

Evolution de la colonisation des racines par *Macrophomina phaseolina*, à Fourquevaux. Pour simplifier la représentation, les données des 3 parcelles ont été regroupées. Même légende que pour la figure 2.

Colonization of sunflower roots by *Macrophomina phaseolina*, in Fourquevaux. The data from the 3 fields have been combined, in order to simplify the diagram. The legend is the same as in figure 2.

IV. DISCUSSION

Après leur germination, les tournesols peuvent être parfois parasités par des *Pythium* sphérosporangés. La fréquence des attaques que nous avons observées est faible, mais il faut souligner que nos prélèvements ont été faits lors d'un printemps particulièrement sec, de sorte que les chiffres relevés sont sans doute inférieurs à la moyenne. Ces *Pythium* spp. sont pathogènes pour des plantules se développant à basse température mais sans effet notable lorsque la température s'élève et que les tissus des plantules commencent à se lignifier. Notons que des *Pythium* du type *arrhenomanes*, parasites parfois graves des céréales et du maïs

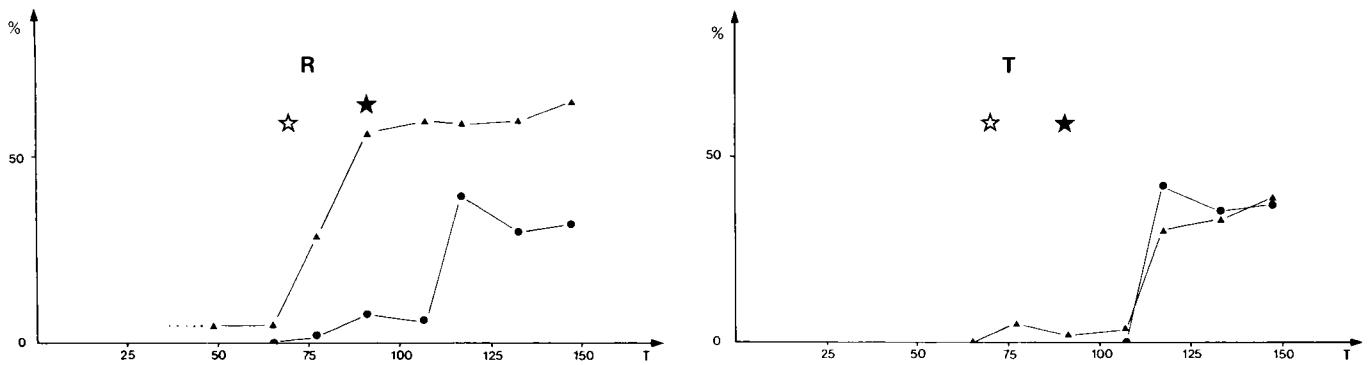


Figure 4

Evolution en fonction du temps de la progression de *Macrophomina phaseolina* (●) et de l'ensemble des *Fusarium* et des *Cylindrocarpon* (▲) dans les organes de tournesols (var. « Rodéo ») récoltés à Castelnaudary. Les résultats sont exprimés en pourcentage de thalles isolés par rapport au nombre de fragments de racines mis en culture. Le temps est compté en jours à partir du semis. La levée a eu lieu 8 j après le semis. Le début de la floraison est indiqué par le symbole ☆. Le symbole ★ marque le dessèchement des fleurs ligulées et le début de la maturation.

Graphique R : progression dans les racines.

Graphique T : progression dans le collet et dans la moelle (les résultats obtenus pour ces 2 parties de la tige sont identiques et ont été regroupés).

Development with time of *Macrophomina phaseolina* (●) and *Fusarium* and *Cylindrocarpon* species as a whole (▲) in sunflower (cv. "Rodeo") organs, sampled in Castelnaudary. Results represent the percentages of observed thalli, calculated in relation to the number of root fragments incubated. Time is expressed as days from sowing date. Seedlings emerged 8 days after sowing. The beginning of flowering is indicated by symbol ☆. Symbol ★ represents flower withering and beginning of ripening.

Diagram R : development in the roots.

Diagram T : development in collar and in medulla (the data relative to these two stem parts were identical, and therefore were combined).

TABLEAU 2

Résultats des inoculations combinées en pots (12 pots par traitement), en fin de cycle.
Results of mixed inoculations in pots (12 pots for each treatment), at the end of the growth period.

Traitements	T	M	Py	Ph1	Ph2	Cy1	Cy2	Cy3	F1	F2	F3	F4
Nombre de plantes sèches	4	6	6	1	1	4	6	4	1	4	2	4
Nombre de plantes à moelle envahie de microscélérotes	0	2	3	0	1	1	5	3	1	3	1	4
Note de nécrose racinaire (de 0 à 5)	3,6	3,8	3,9	3,6	3,0	3,7	4,2	3,4	2,6	3,8	3,3	3,5
Pourcentage d'isolement de <i>Macrophomina phaseolina</i>	0,0	33,3 ± 15,2	30,5 ± 11,8	26,4 ± 13,7	22,9 ± 8,2	26,4 ± 12,1	23,6 ± 14,4	36,8 ± 13,4	35,4 ± 12,9	31,9 ± 12,5	29,2 ± 9,9	22,9 ± 7,4

Les traitements sont les suivants ; Treatments were as follows :

T : témoin non inoculé. Non inoculated control ; M : *Macrophomina phaseolina* (2 souches) (2 strains, mixed) ; Py : *Pyrenochaeta terrestris* + *M. phaseolina* ; Ph1, Ph2 : *Phoma* sp. + *M. phaseolina* ; Cy1, Cy2, Cy3 : *Cylindrocarpon* sp. + *M. phaseolina* ; F1, F2 : *Fusarium roseum* var. *culmorum* + *M. phaseolina* ; F3 : *F. solani* + *M. phaseolina* ; F4 : *F. moniliforme* + *M. phaseolina*.

L'état des racines est noté de 0 (racines entièrement saines) à 5 (racines complètement nécrosées).

Root aspect was assessed according to a scale from 0 (healthy roots) to 5 (roots entirely rotten).

(ROUHANI *et al.*, 1979), peuvent se maintenir sur les racines du tournesol sans causer de nécroses : la rotation maïs-blé-tournesol, couramment pratiquée, ne peut donc pas favoriser le maintien d'un inoculum important.

Pendant toute la période de croissance des plantes, les racines se montrent ensuite résistantes à l'invasion par les nombreux champignons du sol en présence desquels elles se développent. *M. phaseolina* ne peut être mis en évidence qu'exceptionnellement, malgré la présence d'un important inoculum naturel présent dans tous les sols du Lauragais.

Au moment de la floraison, la situation change rapidement : on observe une colonisation massive de

la zone corticale des racines, d'abord par des *Cylindrocarpon* et des *Fusarium* puis, un peu plus tard, par *M. phaseolina*. Une telle succession suggère que *M. phaseolina* n'est en fait qu'un parasite secondaire, introduit par le cortège des autres champignons du sol. ORELLANA (1972) avait déjà envisagé la possibilité d'une succession *Fusarium* sp.-*M. phaseolina*. Mais les essais d'infection expérimentale rapportés ci-dessus ne permettent pas de conclure en faveur de cette hypothèse, puisqu'il n'y a pas de différence nette entre l'état des plantes cultivées en présence de *M. phaseolina* seul et celui des plantes cultivées en présence d'une association de *M. phaseolina* et d'un autre champignon du sol.

TABLEAU 3

Comparaison de tournesols (variété « Mirasol ») inoculés à 5 cm au-dessous du collet (« pivots ») ou à 10 cm au-dessus (« tiges »), au moyen de cure-dents colonisés par *Macrophomina phaseolina*. On a comparé 3 dates d'inoculation. Les observations ont été faites un mois après l'inoculation (ce qui donne une idée de la vitesse de progression), et en fin de cycle. Les résultats suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents (analyse de variance).

Comparison of charcoal rot symptoms in sunflower (cv. Mirasol). The plants had been inoculated either 5 cm under soil level ("pivots"), or 10 cm above ("tiges"), by means of *Macrophomina phaseolina*-colonized tooth-picks. Three inoculation dates were compared. Observations were made one month after inoculation (which gives an idea of rate of development), and at the end of the cropping period. Data followed by the same letter are not different at 5 % level.

Dates d'inoculation	Notation au bout d'un mois			Notation en fin de cycle			
	21 juin	6 juillet	22 juillet	21 juin	6 juillet	22 juillet	
Pourcentage de plantes sèches	« tiges »	0	0	40	40	70	40
	« pivots »	0	0	10	40	30	60
Pourcentage de plantes à moelle envahie	« tiges »	80	100	100	100	100	100
	« pivots »	0	90	60	90	90	90
Longueur (cm) des lésions dans la moelle	« tiges »	8,9 a	11,0 a	35,0 b	21,9 mn	41,8 m	36,0 m
	« pivots »	0 c	2,7 d	6,7 e	17,7 n	10,5 p	12,3 p

La température de l'air et du sol s'élève d'une façon régulière depuis le mois d'avril, époque du semis, jusqu'au mois de juillet, moment de la floraison. Il est donc difficile de séparer, en plein champ, l'effet de l'âge des plantes de celui de la température. *In vitro*, MATHUR & SACKSTON (1963) ont obtenu, sur de jeunes plantules cultivées en présence de *M. phaseolina*, des taux de mortalité beaucoup plus élevés à 30 ou 35 °C qu'à 25 °C. JIMÉNEZ-DIAZ *et al.* (1983) soulignent également la nécessité de températures élevées pour le développement de la maladie. Le début de l'extension de *M. phaseolina* sur les racines au moment de la floraison (fin juin-début juillet) coïncide à peu près avec la période de réchauffement maximum du sol dans le Lauragais (juillet). Cependant l'invasion massive a lieu plus tard, fin août.

D'autre part, pendant les premières semaines qui suivent la floraison, alors que les racines sont fortement colonisées, les tiges demeurent encore parfaitement saines. A ce stade du développement des tournesols, l'inoculation de *M. phaseolina* au cœur du pivot ne s'accompagne d'aucune pénétration de ce champignon dans la moelle qui, pourtant, n'est par elle-même que faiblement résistante, comme le montrent les inoculations directes avec les cure-dents. Les résultats exposés dans le tableau 3 ainsi que d'autres observations non encore publiées montrent qu'il ne semble pas y avoir de corrélation entre l'invasion des racines par *M. phaseolina* et sa présence dans les tiges. Tout se passe comme s'il existait une sorte de verrou au niveau du collet. Cette résistance de la base des tiges est brutalement levée au moment où commence le remplissage des graines : la moelle est alors très rapidement colonisée, non seulement par *M. phaseolina*, mais aussi par les divers *Fusarium* et *Cylindrocarpon* déjà présents dans les racines. Il ne semble donc pas que ce phénomène de résistance, puis de sensibilité, de la base des tiges soit très spécifique.

En fait, nos observations ainsi qu'une expérimentation actuellement en cours nous inclinent à considérer que, dans les tiges, *M. phaseolina* se comporte comme un envahisseur des tissus sénescents, dans les conditions climatiques du sud de la France. Ce champignon

ne serait que l'un des composants d'un complexe qui comprend aussi les *Fusarium* et les *Cylindrocarpon* déjà mentionnés plus haut. Il est tout à fait significatif de constater que, dans tous les cas que nous avons étudiés, la mycoflore associée aux racines augmente dans des proportions considérables environ 80 j après le semis. Il existe très peu d'études relatives au développement des organes souterrains du tournesol. Cependant MAERTENS & BOSC (1981), en étudiant l'enracinement de la variété tardive « Stadium », ont constaté que la longueur et le poids du système racinaire croissent rapidement pendant les 75 j qui suivent la levée (soit précisément 82 j après le semis) ; ces paramètres diminuent ensuite tout aussi rapidement, non seulement par suite d'une migration des réserves, mais encore, selon leurs termes, par disparition pure et simple d'une partie des racines. Ce stade critique, à partir duquel débute la sénescence, correspond, comme chez le maïs (BARRIÈRE *et al.*, 1981), au déclenchement des mécanismes de la reproduction. L'envahissement du cortex des racines (qui explique la régression du système racinaire signalée plus haut) puis celui de la moelle semblent bien liés à ce bouleversement profond du développement de la plante.

La colonisation des racines est généralement plus intense et un peu plus précoce dans les zones situées en haut de pente où le sol est moins profond et les réserves en eau moins importantes. ALABOUVETTE & BREMEERSCH (1975) et GUILLAUMIN (1975) avaient déjà observé une relation entre les foyers où *M. phaseolina* était le plus apparent et les zones à faibles réserves hydriques. Les recherches en cours tendent à préciser les liens entre l'état physiologique des plantes-hôtes (et en particulier des racines), l'effet des facteurs extérieurs et l'installation dans la moelle du complexe à *M. phaseolina*.

Reçu le 23 décembre 1983.

Accepté le 7 mai 1984.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé en collaboration avec le Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains et grâce à son aide financière.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Acimovic M.**, 1962. *Sclerotium bataticola* as a causal agent of sunflower wilt in Vojvodina. *Zast. Bilja*, **69-70**, 125-138.
- Alabouvette C., Bremeersch P.**, 1975. Les dégâts provoqués par *Macrophomina phaseoli* dans les cultures de tournesol. *Déf. Vég.*, **173**, 125-131.
- Barrière Y., Panouillé A., Cassini R.**, 1981. Relations source-puits et sélection du maïs pour la résistance à la pourriture des tiges. *Agronomie*, **1**, 707-711.
- Guillaumin J. J.**, 1975. Etude des maladies du tournesol en Auvergne pour l'année 1974. *Rev. Sc. Nat. d'Auvergne*, **41**, 15-57.
- Jiménez-Díaz R. M., Blanco-Lopez M. A., Sackston W. E.**, 1983. Incidence and distribution of charcoal rot of sunflower caused by *Macrophomina phaseolina* in Spain. *Plant Dis.*, **67**, 1033-1036.
- Maertens C., Bosc M.**, 1981. Etude de l'évolution de l'enracinement du tournesol (variété « Stadium »). *Inform. Tech. CETIOM*, **73**, 3-11.
- Mathur S. B., Sackston W. E.**, 1963. Effect of temperature and age of host on infection of sunflowers by *Sclerotium bataticola*. *Phytopathology*, **53**, 350.
- Messiaen C. M.**, 1977. *Macrophomina* et mortalité précoce des tiges. *Rapport d'activité 1976-1977, CETIOM*, Paris, 125-126.
- Messiaen C. M.**, 1978. Complexe à *Macrophomina*. *Rapport d'activité 1977-1978, CETIOM*, Paris, 181-183.
- Messiaen C. M., Lafon R.**, 1965. *Les maladies des plantes maraichères*, Vol. II, I.N.R.A., Paris, 331 p.
- Orellana R. G.**, 1972. Relative susceptibility and resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to *Fusarium* sp., *Phymatotrichum omnivorum* and *Macrophomina phaseolina*. *5^e Conf. Int. tournesol*, 25-29 juillet 1972, Clermont-Ferrand, 162-166.
- Rouhani H., Davet P., Poinso B., Beyries A., Messiaen C. M.**, 1979. Inventaire et évaluation du pouvoir pathogène des composants de la microflore fongique sur racines de maïs en France. *Ann. Phytopathol.*, **11**, 69-93.
- Sackston W. E.**, 1981. The sunflower crop and diseases : progress, problems and prospects. *Plant Dis.*, **65**, 643-648.