

ASPHODEL : MODELE DE SIMULATION DES EPIDEMIES DE PHOMOPSIS DU TOURNESOL (*DIAPORTHE HELIANTHI*)

Marc DELOS, Service Régional de la Protection des Végétaux "Midi-Pyrénées"
- Cité Administrative - Bât. E - Bd Armand Duportal - 31074 TOULOUSE Cedex - France
Fax : 05 61 10 62 72 ; e-mail : marc.delos@agriculture.gouv.fr

Jacques MOINARD, Fédération Régionale de Défense contre les Ennemis des Cultures "Midi-Pyrénées"
- Cité Administrative - Bât. E - Bd Armand Duportal - 31074 TOULOUSE Cedex - France
Fax : 05 61 10 62 72 ; e-mail : jacques.moinard@agriculture.gouv.fr

Philippe DEBEAUME, Institut National de la Recherche Agronomique
- ~~Station~~ Unité d'Agronomie - B.P. 27 - 31326 CASTANET TOLOSAN Cedex - France

Andrébert PERES, Centre Technique des Oléagineux Métropolitains
- Centre de Grignon - B.P. 4 - 78850 THIVERVAL GRIGNON - France

RESUME

Le modèle ASPHODEL a été mis au point entre 1992 et 1995 en vue d'optimiser la lutte fongicide contre *Diaporthe helianthi* (Phomopsis du Tournesol).

Son élaboration s'est appuyée sur les études réalisées au Service Régional de la Protection des Végétaux Midi-Pyrénées de 1987 à 1995 et sur les observations réalisées sur l'ensemble du Sud-Ouest durant la même période.

Ce modèle d'aide à la décision est utilisé actuellement en complément des outils de surveillance classique (piégeage et suivi biologique) dans l'ensemble des régions françaises où la maladie est rencontrée.

ASPHODEL, construit selon un schéma de type déterministe, décrit l'effet du climat sur la dynamique du champignon (maturation des ascospores, projections et contaminations) et la réceptivité de la plante en fonction du stade et de la variété.

Il simule enfin l'évolution du phomopsis dans une parcelle témoin ainsi que la quantité de maladie résiduelle après traitement. Cette dernière information permet d'optimiser le positionnement du traitement ou son éventuel renouvellement.

Ce degré d'évolution, rarement atteint, a été possible en raison de la nature du champignon dont l'épidémie est à intérêt simple (absence de cycles secondaires).

SUMMARY

ASPHODEL : A SIMULATION MODEL OF SUNFLOWER PHOMOPSIS EPIDEMIC (*DIAPORTHE HELIANTHI*)

The ASPHODEL model was developed between 1992 and 1995 in order to optimize the fungicide control of *Diaporthe helianthi* (phomopsis stem canker of sunflower).

Its elaboration was based on studies carried out by the Regional Service of Plant Protection from Midi-Pyrénées between 1987 and 1995, and on observations made in the whole South-West area during the same period.

This decision-support model is currently used as a complement to the classical supervision tools (spore trapping, biological survey) in all the French regions where the disease is expected.

ASPHODEL describes the effect of the climate on the fungus dynamics (maturation of the ascospores, projection and infection) and the plant receptivity as a function of growth stage and variety, in a deterministic way.

At last, it simulates the phomopsis in an unprotected field as well as the amount of residual disease after treatment. This last information allows the optimization of the spraying periods.

This level of disease prediction has been made possible because of the type of fungus whose epidemic does not include secondary cycles.

INTRODUCTION

Diaporthe helianthi a été probablement introduit en France depuis la Yougoslavie au début des années 80 (DELOS et MOINARD, 1995). Il a suffi d'une dizaine d'années pour qu'il se propage à l'ensemble des zones de culture du tournesol, induisant certaines années des pertes de rendement considérables. Deux principaux moyens de lutte ont été développés au cours de ces dernières années : le premier, d'ordre génétique, ne peut être mis en œuvre systématiquement sur l'ensemble des zones de culture (tardiveté ou manque de productivité des variétés tolérantes, recherche d'autres qualités que la simple résistance au phomopsis); le second, issu de la lutte chimique, est plus aisé à mettre en œuvre lorsqu'il est associé au précédent. Toutefois, une protection fongicide efficace peut être obtenue, même lorsque pour des raisons techniques (production de semences), les variétés cultivées sont sensibles au phomopsis. Parallèlement à ces progrès techniques, l'acquisition de nouvelles connaissances sur la biologie du parasite et sur le mode d'action des fongicides a permis l'élaboration d'un outil informatique permettant d'optimiser le placement des traitements phytosanitaires. A moyen terme, cette évolution devrait permettre de limiter au minimum la consommation de fongicides et leurs impacts sur le milieu. Dans cette note, on décrira le modèle de simulation ASPHODEL, en insistant sur les étapes de sa mise au point, ainsi que sur ses limites.

MATERIEL ET METHODES

1. Moyens de surveillance de la dynamique du champignon par rapport au climat

La mise au point d'un modèle d'aide à la décision a nécessité l'exploitation de l'ensemble des études et observations disponibles, à savoir: (1) des tests *in vitro* de croissance du mycélium, (2) des études sur les délais de survie des ascospores sur les feuilles de tournesol, (3) des études en phytotron sur les conditions climatiques déterminant la contamination, (4) le suivi de la maturation des périthèces, (5) l'exploitation des réseaux de piégeage des ascospores depuis 1987 soit une dizaine de pièges par an pendant 9 années, (6) les résultats des enquêtes sanitaires réalisées en automne depuis 1987, caractérisant l'évolution du pathogène en fonction du climat de l'année.

2. Nouvelles observations sur la relation plante-champignon

Deux approches de nature analytique ont permis de préciser le profil de sensibilité du tournesol en fonction de son stade phénologique :

- Des dispositifs appelés bases d'isorisques constitués par des parcelles expérimentales comprenant différentes sensibilités variétales (tolérantes à très sensibles) semées à trois dates différentes (précoce, normale et tardive). Des notations régulières et exhaustives ont été réalisées sur ces sites pour suivre l'évolution de l'épidémie au cours du temps en fonction des deux critères d'études retenus (variété et date de semis). Chaque année, 5 sites ont été suivis depuis 1992.

- Les premières observations réalisées dans les sites isorisques en 1992 ont conduit à la réalisation de dispositifs expérimentaux spécifiques (en 1993, 94 et 95) avec différentes variétés, caractéristiques de sensibilités différentes, semées à 8 dates espacées de 10 jours, afin de vérifier l'effet du stade phénologique sur la réceptivité de la plante au champignon. Une contamination massive à l'aide de 10^5 spores par ml a été réalisée pour des stades phénologiques s'étalant du stade "cotylédonaire" à "floraison" (F1). L'ensemble de l'essai a été recouvert d'un film Agril P17 afin d'obtenir des conditions de contamination homogènes et optimales. Une notation sur feuilles et deux sur tige, selon la grille CEB, ont été réalisées au cours des deux mois suivants.

3. Evolution dans la connaissance du mode d'action des fongicides

Les nouvelles données concernant le mode d'action des fongicides proviennent des essais homologation (S.P.V.) menés en 1992. A la suite d'expérimentations réalisées au cours des années 80, nous avons observé un apport limité du carbendazime dans la construction de

l'efficacité des spécialités testées. Il en est de même pour le mancozèbe qui ne présente qu'une activité limitée en préventif. C'est donc essentiellement l'effet du flusilazole et du fenpropimorphe qui a été mesuré au travers de ces expérimentations. Différents essais réalisés entre 1993 et 1995 selon un dispositif en blocs simples complets ou en split-plot sur les variétés Marko et Albéna dont les profils de sensibilité sont bien connus, avaient pour objectif de vérifier les hypothèses établies en 1992. Ils ont fait l'objet d'une contamination artificielle par apport d'inoculum avant une phase contaminatrice intense au stade de sensibilité maximum de la plante (E1). L'impact de cette contamination a pu être jugé grâce à un suivi bihebdomadaire de l'évolution des symptômes sur feuilles. Dans ces conditions, les traitements ont pu être positionnés précisément autour de la phase de contamination majeure. Cinq dates d'intervention ont été testées pour chacun des fongicides, entre 22 jours avant contamination et 25 jours après. Ces différents résultats ont permis de préciser les profils d'activité des fongicides disponibles.

RESULTATS

1 - Le module champignon ou l'effet du climat sur l'épidémie (Figures 1 et 5)

La description des phases épidémiques a été réalisée au moyen de trois compartiments.

- **le compartiment maturation des asques** détermine chaque jour l'évolution de la maturation au moyen d'une fonction du type $f_{(\text{température, hygrométrie})}$, jusqu'à atteindre 50 % d'asques mûrs, première condition pour qu'une dynamique épidémique soit possible. Ce compartiment évalue par la suite la vitesse de recharge des périthèces entre deux vagues de projections d'ascospores.

- **le compartiment projection** simule les phases de projection grâce à une équation de type $f_{(\text{pluie})}$. Après une projection, la recharge des périthèces est nécessaire pour disposer de nouvelles ascospores aptes à être projetées. La recharge des périthèces $f_{(\text{température, hygrométrie})}$ est calculée grâce au compartiment précédent.

- **le compartiment contamination** simule les contaminations après une projection suivant une équation $f_{(\text{hygrométrie})}$. L'importance de la phase contaminatrice sera fonction du nombre de jours où une contamination est possible ; un minimum de 36 heures en conditions favorables est nécessaire pour observer des symptômes en quantité significative sur feuilles.

2 - Le module plante (Figures 2 et 5)

Ce module traduit la réceptivité d'une variété aux contaminations pour un stade phénologique donné. Les mêmes phases contaminatrices peuvent se traduire par des fréquences et des intensités de symptômes sur feuilles puis sur tige très différentes suivant la variété et le stade de la plante. Une pondération tenant compte de ce phénomène était indispensable pour traduire la réalité de l'événement contaminant. Les travaux menés dans cette perspective n'ont pas permis d'étudier l'ensemble des variétés, mais seules les plus cultivées, ou représentatives d'une classe de sensibilité ont été testées. Deux indices traduisent cette évolution :

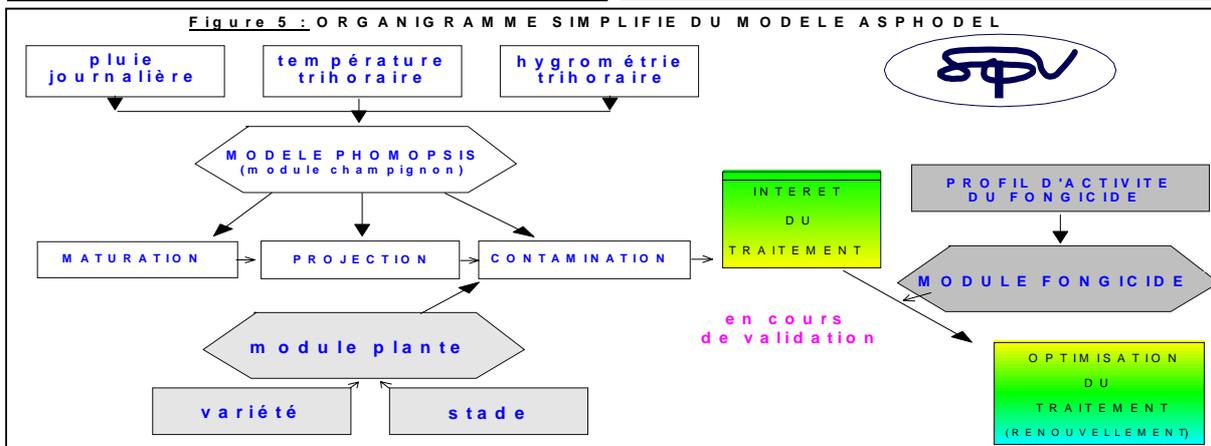
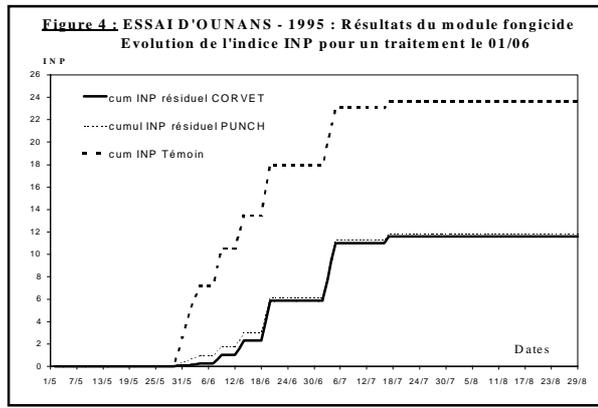
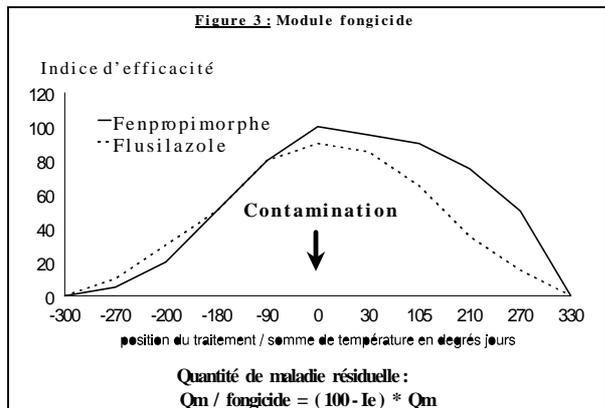
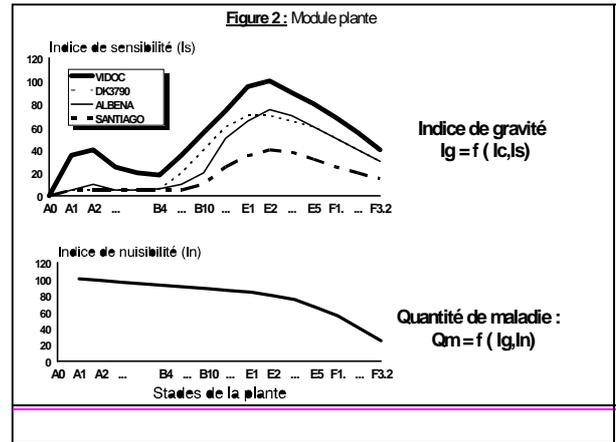
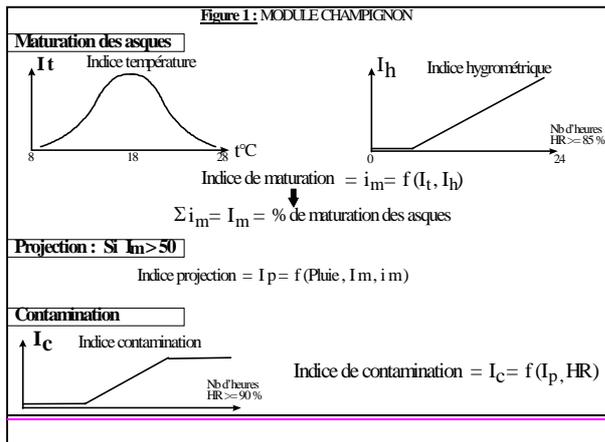
- **l'Indice de Gravité sur Feuille (IGF)** pondère les résultats du compartiment contamination en fonction de la sensibilité variétale et du stade phénologique. Il traduit la maladie latente dans les feuilles. Un saut d'indice correspond à une apparition de symptômes dans un délai de trois semaines (le calcul automatique de l'incubation n'est pas envisagé à ce jour, la maladie étant à intérêt simple).

- **l'Indice de Nuisibilité (nécrose encerclante des tiges) Potentielle (INP)**, calculé à partir de l'indice IGF, traduit la probabilité pour qu'un symptôme apparaissant sur feuilles ait un effet sur le rendement; elle est d'autant plus faible que ce symptôme apparaît tard. En effet, la nuisibilité du Phomopsis ne s'exerce pas au niveau du limbe foliaire, il est nécessaire que le champignon migre sur le pétiole puis sur la tige pour entraîner des pertes de rendement.

3 - Le module fongicide (Figures 3, 4 et 5)

Nous disposons des valeurs de l'IGF et de l'INP traduisant la quantité de maladie latente. Connaissant les niveaux précis d'efficacité sur feuilles et sur tige des spécialités PUNCH C et CORVET FLOW en fonction de leur placement par rapport à la contamination, il nous a été possible de calculer la quantité de maladie résiduelle après traitement.

La représentation proposée confronte l'évolution de la maladie dans le témoin et l'évolution dans la parcelle traitée. Cette dernière dépendra du type de produit utilisé et de la date du traitement. Il est possible de tester plusieurs dates et de retenir celle qui offrira la meilleure efficacité. Il est également possible de gérer le renouvellement d'un traitement lorsque de nouvelles contaminations ne sont plus contrôlées par un traitement déjà réalisé.



DISCUSSION

Si le modèle ASPHODEL permet de décrire l'épidémie de Phomopsis en mobilisant les connaissances disponibles à ce jour, la pertinence de ses prévisions n'en est pas moins confrontée aux limites inhérentes à la représentation d'un phénomène naturel. Ces dernières sont de trois ordres :

- **La première limite est liée à l'inoculum.** Des contaminations précoces ayant pour origine des pycniospores de type alpha (fertiles), bien que peu probables sous nos climats, ne sont pas à exclure. Ces contaminations seraient indépendantes du niveau de maturation des asques. Le risque d'observer un tel phénomène paraît cependant très limité, d'une part parce que ces spores sont rarement observées *in vivo* et de façon très fugaces (PLAZA, 1995), d'autre part parce que la dissémination des pycniospores ne peut se faire que sur de très petites distances (contrairement aux ascospores). Plus gênant est le phénomène de projection d'ascospores de faible importance, observé avant l'obtention d'un taux de maturation significatif (50 %) de ces spores. Si ces projections n'ont pas de conséquence pratique pour la plupart des parcelles, la masse critique d'inoculum n'étant pas atteinte, nous avons effectivement constaté dans des conditions très favorables (variété très sensible et inoculum exceptionnellement important dans l'environnement immédiat de la parcelle), des dégâts sur les stades les plus précoces de la plante, bien avant le franchissement du seuil de 50 % d'asques mûrs. La quantité insignifiante d'ascospores produites par unité de surface de cannes contaminées avait été compensée par le nombre considérable de cannes contaminées dans l'environnement immédiat de la parcelle, facteur qu'aucun modèle ne saurait évaluer pour chaque situation particulière. Ces situations hors normes représentent par ailleurs moins d'un cas pour mille.

- **La deuxième limite est liée aux conditions climatiques qui suivent la phase de contamination.** Le résultat peut par ailleurs être biaisé par des températures très élevées en phase d'incubation (DUNOYER, 1996) et par une climatologie particulièrement sèche au cours de la progression du champignon de la feuille vers la tige, l'absence de précipitations à ce stade de l'épidémie pouvant enrayer son évolution ou la décaler jusqu'à la prochaine période humide. C'est la raison pour laquelle nous prédisons une expression « potentielle » des attaques sur tige, en supposant que les conditions climatiques durant les cinq semaines suivant la contamination initiale seront favorables à l'évolution des symptômes. Des progrès dans la description des phases climatiques bloquant l'évolution du champignon après contamination permettraient de mieux rendre compte des phénomènes observés. Ils seraient probablement de peu d'utilité pour la décision de traiter dans la mesure où ces contraintes hydriques et thermiques surviennent principalement à partir de la fin Juin, soit après le stade LPT.

- **Enfin, le contexte agronomique de la parcelle (en particulier l'état du couvert de tournesol)** est de nature à modifier l'incidence de la maladie par rapport à la prévision du modèle. Les valeurs climatiques intégrées au modèle sont celles recueillies dans des stations automatiques hors de la culture afin de standardiser le plus possible la simulation et permettre celle-ci sur un maximum de sites dans une région donnée. La prévision obtenue s'applique à un couvert de densité moyenne et régulière, sans contraintes hydriques et nutritionnelles marquées. Or, la variabilité des états du couvert pendant la phase de sensibilité maximale au phomopsis (type variétal, densité de peuplement, alimentation hydrique et azotée...) est à l'origine des différences de fréquence d'attaques une même année pour des parcelles proches (DEBAEKE *et al.*, 2000). Le modèle pourrait ainsi surestimer le risque de nuisibilité pour des parcelles à faible développement végétatif alors que les conditions micrométéorologiques seraient peu favorables à la contamination et à l'évolution des symptômes. *A contrario*, l'ajustement réalisé à partir de l'hygrométrie relative prise à la station automatique pour rendre compte de celle constatée dans la végétation pourrait être pris en défaut dans une parcelle très couvrante où de nouvelles contaminations pourraient être détectées. Ainsi pour éviter des applications fongicides inutiles, il est important d'ajouter à l'avertissement fourni par le

modèle ASPHODEL (fonction du climat, de la date de semis, de la tolérance variétale) une règle de décision supplémentaire tenant compte de l'état du couvert peu avant le traitement fongicide (DEBAEKE *et al.*, 2000.)

CONCLUSION

La lutte chimique contre le phomopsis du tournesol a atteint aujourd'hui sa phase de maturité. Des fongicides très performants sont disponibles; les outils de surveillance du champignon et les stratégies à mettre en oeuvre sont clairement identifiés, même si pour des productions particulières (production de semences), quelques progrès restent à accomplir.

Pour parfaire ce tableau, l'ensemble de nos connaissances est rassemblé dans un outil de simulation performant: le modèle ASPHODEL. L'étape suivante et ultime serait l'aboutissement de la lutte génétique avec la diffusion de variétés totalement tolérantes, aussi souples d'emploi et productives que celles cultivées à ce jour. Une telle évolution mettra à coup sûr au rang des accessoires devenus inutiles, le modèle mis au point. Nous pensons qu'il s'agirait d'une évolution positive car le recours à la lutte chimique ne doit être qu'une étape dans la maîtrise d'un problème parasitaire et non une finalité. Même si tel était le cas, la démarche mise en oeuvre pour bâtir ASPHODEL resterait riche d'enseignements pour l'amélioration d'autres modèles plus complexes, tels que TOP ou PRESEPT. D'autre part, certaines contraintes peuvent constituer un frein à la culture exclusive des variétés offrant le maximum de tolérance vis-à-vis du *Diaporthe helianthi*, à savoir: de nouveaux défis parasitaires tels que ceux imposés par le mildiou et peut-être à terme le phoma et l'orobanche, les attentes légitimes des agriculteurs, vis-à-vis du développement de variétés ouvrant des débouchés nouveaux pour l'huile produite. Les sélectionneurs conviennent que pour réaliser l'intégration de l'ensemble de ces demandes, le niveau de tolérance au phomopsis de variétés futures devrait les situer pour la plupart dans la gamme "peu sensible à très peu sensible".

Dans cette hypothèse, il est envisageable, lors d'années favorables au phomopsis, de concevoir une lutte fongicide sur de grandes surfaces, dans un souci de respect des exigences économiques et environnementales, avec l'appui d'outils comme ASPHODEL et de règles de décisions intégrant l'état du couvert.

BIBLIOGRAPHIE

DEBAEKE P., ESTRAGNAT E., PERES A., PIASENTIN S. (2000). Recherche d'indicateurs du couvert pour la prévision précoce du risque phomopsis. *15ème Conf.Int.Tournesol*, Toulouse, 12-15 Juin 2000.

DELOS M., MOINARD J., FABREGUE C. (1994). Le phomopsis du tournesol (*Diaporthe helianthi*): Nouvelles acquisitions sur la dynamique de la maladie et la mise en oeuvre de la lutte fongicide. *4ème Conf. Inter. sur les Maladies des Plantes*, ANPP 1994, vol. III / III, 1187-1194.

DELOS M., MOINARD J. (1995). Evolution du phomopsis du tournesol en France: Un bref historique. *Phytoma* - n° 473 - Juin 1995, 22-24.

DELOS M., MOINARD J. (1995). Phomopsis du tournesol: Mise en oeuvre de la lutte chimique. *Phytoma* n° 473 - Juin 1995, 28-30.

DELOS M., MOINARD J., JACQUIN D. (1995). Etude et surveillance du phomopsis: Des pièges au modèle. *Phytoma* - n° 473 - Juin 1995, 25-27.

DUNOYER P. (1996). *Contribution à l'amélioration et à la validation d'Asphodel, modèle de simulation des épidémies de Diaporthe helianthi sur tournesol*. Mémoire de D.A.A, ENSA Toulouse.

FAYRET J., ASSEMAT P. (1987). Evolution du *Diaporthe helianthi* (*Phomopsis helianthi*) Munt-Cvet et al. et différenciation des organes reproducteurs sur les plants du tournesol après la période de végétation. *Info. Tech. CETIOM* n° 98, I/1987, 2-11/1987.

PERES A., REGNAULT Y. (1988). *Diaporthe/Phomopsis helianthi*. Munt-Cvet. et al.: étude de la contamination et applications aux essais de lutte fongicide sur tournesol. *2ème Conf. Inter. sur les Maladies des Plantes*, ANPP 1988 n° 4 vol. II / III, 855-862.

PLAZA C. (1995). *Contribution à l'étude biologique, épidémiologique de Phomopsis (Diaporthe) helianthi Munt.-Cvet, sur tournesol et à la validation du « modèle Phomopsis »*, Mémoire de DHET, ENSA Toulouse.

PROJETTI F., COSTE J., MARTY-DESSUS L. (1988). Contribution à la mise au point d'une stratégie de lutte contre le phomopsis du tournesol (*Diaporthe helianthi*) dans le Sud-Ouest de la France. *2ème Conf. Inter. sur les Maladies des Plantes*, ANPP 1988 n° 4 vol. II/III, 863-870.