

PAULIDES Marina

0671

DESS
1984
11
A

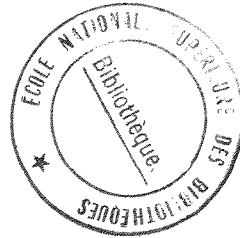
BIBLIOTHEQUE DE L'ENSSIB



841153A

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I
U.E.R. de MATHEMATIQUES

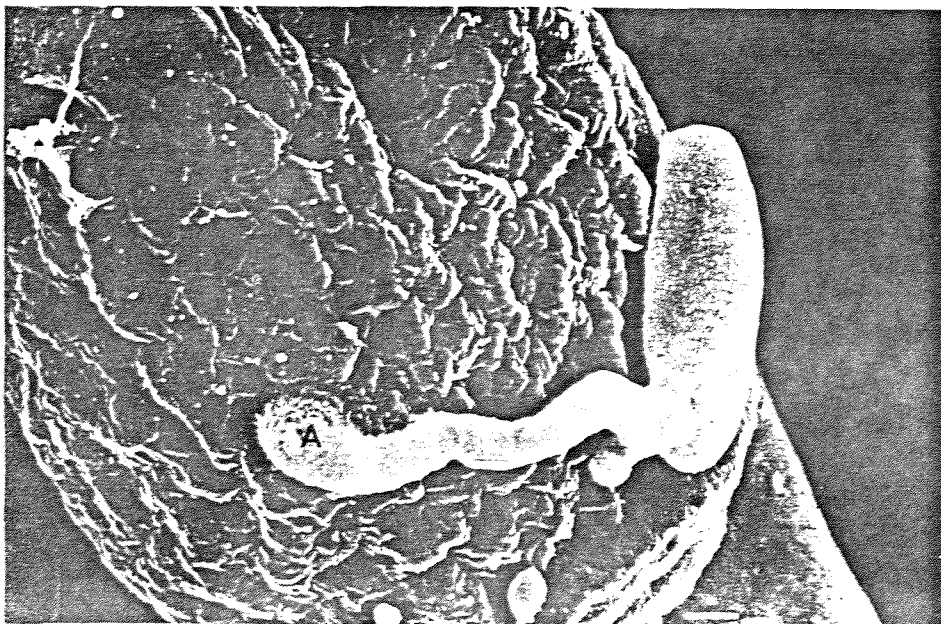
D.E.S.S. en INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE



NOTE DE SYNTHÈSE :

LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LES OIDIUMS

PAR MICROORGANISMES HYPERPARASITES OU ANTAGONISTES



PAVLIDES Marina
JUN 1984.

Photographie extraite de la référence 17 :
conidie d' Ampelomyces quisqualis germant sur une
conidie de Sphaerotheca fuliginea. (barre = 10 μm)

Je remercie M. HUGUENEY, Maître-Assistant au Laboratoire de Biologie végétale de l'Université Claude Bernard, pour m'avoir donné ce sujet de synthèse, ainsi que pour son aide et pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail.

P.L.A.N

I- INTRODUCTION

II- RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

- 1 - Limitation du sujet
- 2 - Interrogation des bases de données
 - 2-1 Choix des bases de données
 - 2-2 Stratégie de recherche
 - 2-3 Résultats de l'interrogation des bases de données
- 3 - Accès aux documents primaires

III- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

- 1 - Généralités sur les Oïdiums et les méthodes de lutte
 - 1-1 Généralités
 - 1-2 Méthodes de lutte
- 2 - Lutte biologique contre les Oïdiums par *Ampelomyces quisqualis*
 - 2-1 Généralités sur *Ampelomyces quisqualis*
 - 2-2 Méthodes de culture in vitro
 - 2-3 Morphologie d'*Ampelomyces quisqualis*
 - 2-4 Physiologie d'*Ampelomyces quisqualis*
 - 1°/ Influence des facteurs biotiques
 - 2°/ Influence des facteurs de l'environnement
 - 3°/ Stimulation de la germination conidienne par les Oïdiums et d'autres champignons
 - 2-5 Relation d'hyperparasitisme avec l'Oïdium-hôte
 - 1°/ Localisation de l'hyperparasite
 - 2°/ Voies et mécanismes de pénétration
 - 3°/ Voies de progression
 - 4°/ Résultats de l'infection
 - 5°/ Recherche d'une toxine
 - 2-6 Expériences en vue du contrôle des Oïdiums
 - 1°/ Expériences de contrôle biologique
 - 2°/ Tolérance aux fongicides

- 3°/ Expériences de contrôle intégré
- 4°/ Conclusion

3 - Lutte biologique contre les Oïdiums par d'autres microorganismes hyperparasites ou antagonistes

- 3-1 Aphanogladium album
- 3-2 Tilletiopsis sp.
- 3-3 Cladosporium sp.
- 3-4 Autres microorganismes

IV- BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Bibliographie sur Ampelomyces quisqualis et la lutte biologique contre les Oïdiums par microorganismes hyperparasites ou antagonistes
- 2 - Bibliographie générale
- 3 - Bibliographie complémentaire

I- INTRODUCTION

En Phytopathologie (Science de l'étude des maladies des végétaux et des méthodes de protection des végétaux cultivés), les recherches menées sur les champignons parasites occupent une place importante. En effet, ces organismes, responsables du tiers des maladies des végétaux cultivés, causent des destructions considérables.

Parmi ces champignons phytoparasites, les Oïdiums représentent l'une des maladies les plus répandues et les plus graves, et contre laquelle les méthodes actuelles de lutte (principalement fongicides de synthèse) ne donnent pas des résultats très satisfaisants, qu'il s'agisse de cultures en serres ou en champs.

Les Oïdiums (champignons Ascomycètes de la famille des Erysiphacées) parasitent des hôtes très variés, et touchent aussi bien des céréales, des arbres fruitiers, des cultures horticoles ou maraîchères... Mais ils peuvent eux-mêmes être parasités par un autre champignon, Ampelomyces quisqualis.

Des recherches sur cet exemple d'hyperparasitisme, et sur les possibilités de lutte biologique et de lutte intégrée par hyperparasitisme contre les Oïdiums sont donc effectuées, particulièrement depuis une dizaine d'années.

Au Laboratoire de Biologie et Physiologie végétales de l'Université Claude Bernard, des souches d'Ampelomyces quisqualis vont être étudiées, et il m'a donc été demandé une synthèse des travaux de recherche concernant la lutte biologique par hyperparasitisme ou par antagonisme contre les Oïdiums.

II- RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Préalablement à l'interrogation en ligne des bases de données, une recherche bibliographique manuelle a été faite à la Bibliothèque Universitaire et à la Bibliothèque du Laboratoire de Biologie et Physiologie végétales, dans le but d'approfondir le sujet de recherche et de bien préciser ses limites, puis de choisir les termes de l'équation de recherche pour l'interrogation des bases de données choisies.

Cette recherche manuelle a consisté en la consultation d'ouvrages généraux, l'étude systématique des champignons concernés, la recherche de quelques références par index systématique dans les "Abstracts of Mycology" (sélection des "Biologicals Abstracts", lesquels correspondent à la base de données Biosis).

1 - LIMITATION DU SUJET

Le sujet de recherche a été défini comme devant porter sur les points suivants :

- Morphologie et physiologie d'Ampelomyces quisqualis ; méthodes de culture in vitro ;
- Relation de parasitisme entre Ampelomyces quisqualis et l'Oïdium-hôte (Ampelomyces quisqualis parasite également d'autres champignons, ceci sortant du cadre de cette étude) ;
- Toutes recherches (essais d'inoculations expérimentales d'Oïdiums,...) en vue d'une lutte biologique contre les Oïdiums soit par Ampelomyces quisqualis, soit par d'autres microorganismes parasites ou antagonistes des Oïdiums (sachant qu'il en existe au moins deux autres : Aphanoglyphum album, champignon hyperparasite, et Tilletiopsis sp., levure antagoniste).

La recherche bibliographique a été effectuée sans limitation géographique ni chronologique : en effet, ce sujet de recherche étant assez "étroit" et très spécialisé, il était intéressant de connaître tout ce qui avait été publié dans le monde à ce propos ; quelque soit l'ancienneté des textes étudiés, ils pouvaient présenter un intérêt pour les recherches actuelles.

2 - INTERROGATION DES BASES DE DONNEES

2-1 Choix des bases de données :

Deux bases de données bibliographiques ont été interrogées :

- La base de données française PASCAL :

Produite par le C.D.S.T. (Centre de Documentation Scientifique et Technique du C.N.R.S.), pluridisciplinaire, la base Pascal est assez complète dans le domaine des Sciences de la Vie.

Les références bibliographiques proviennent principalement d'Europe (60% environ) ; les références à partir de 1977 sont contenues dans la base Pascal proprement dite, et celles depuis 1973 jusqu'à 1977, dans la base Pasc73 ; il est possible de sauvegarder la stratégie de recherche d'un fichier sur l'autre.

Pascal et Pasc73 ont été interrogées par l'intermédiaire du serveur Télésystèmes (logiciel d'interrogation Questel).

- La base de données américaine Biosis :

Cette base est spécialisée dans les Sciences biologiques. Les références de ce fond documentaire ont pour origine principalement l'Europe (50%) et l'Amérique du Nord (25%).

La base Biosis a été interrogée par l'intermédiaire du serveur E.S.A. (Agence Spatiale Européenne).

2-2 Stratégie de recherche :

3 groupes de descripteurs ont été combinés dans l'équation de recherche :

1°/ Les noms de genre des microorganismes connus comme parasites ou antagonistes d'Oïdiums : Ampelomyces et son ancienne dénomination Cicinnobolus ; Aphanocladium ; Tilletiopsis.

2°/ Les descripteurs des Oïdiums : Oïdium (et pour Biosis l'équivalent anglais "powdery mildew"), terme désignant à la fois la maladie, les champignons responsables, et l'un des stades imparfaits de ces champignons ; les noms de genre des champignons causant cette maladie : Erysiphe, Microsphaera, Leveillula, Phyllactinia, Podosphaera, Sphaerotheca, Unginula ; la troncature droite Erysiph+ recouvre également la famille des Erysiphacées (qui correspond aux Oïdiums), et l'ordre des Erysiphales, terme englobant d'autres familles de champignons, mais par lequel les Oïdiums sont souvent désignés.

3°/ Les notions d'hyperparasitisme, d'antagonisme (ces deux notions étant assez proches), et plus largement de lutte biologique ou de lutte intégrée (combinant différentes méthodes de lutte). (Equivalents anglais : biological control, microbiological control, integrated control, integrated pest management).

1. EQUATION DE RECHERCHE : BASES DE DONNEES PASCAL ET PASC73 :

- ETAPE DE RECHERCHE : 1
CICINNOBOLUS OU AMPELOMYCES OU APHANOCLADIUM OU TILLETIOPSIS
- ETAPE DE RECHERCHE : 2
OIDIUM+
- ETAPE DE RECHERCHE : 3
ERYSHIP+
- ETAPE DE RECHERCHE : 4
MICROSPHAERA+ OU LEVEILLULA+ OU PHYLLACTINIA+
- ETAPE DE RECHERCHE : 5
PODOSPHAERA+ OU SPHAEROTHECA+ OU UNCINULA+
- ETAPE DE RECHERCHE : 6
2 OU 3 OU 4 OU 5
- ETAPE DE RECHERCHE : 7
HYPERPARASIT+ OU MYCOPARASIT+
- ETAPE DE RECHERCHE : 8
LUTTE BIOLOGIQUE OU LUTTE INTEGREE
- ETAPE DE RECHERCHE : 9
ANTAGONISME
- ETAPE DE RECHERCHE : 10
7 OU 8 OU 9
- ETAPE DE RECHERCHE : 11
6 ET 10
- ETAPE DE RECHERCHE : 12
1 OU 11

2. EQUATION DE RECHERCHE : BASE DE DONNEES BIOSIS :

SET	ITEMS	DESCRIPTION
1	8	CICINNOBOLUS
2	21	AMPELOMYCES
3	9	APHANOCLADIUM
4	20	TILLETIOPSIS
5	57	1+2+3+4
6	1040	POWDERY(W)MILDEW
7	139	OIDIUM
8	1175	ERYSHIP
9	120	MICROSPHAERA
10	60	PHYLLACTINIA
11	1382	7+8+9+10
12	139	PODOSPHAERA
13	356	SPHAEROTHECA
14	80	UNCINULA
15	77	LEVEILLULA
16	570	12+13+14+15
17	23	5*(6+11+16)

On peut résumer ainsi l'équation de recherche sur la base PASCAL :

(1) OU ((2) ET (3))

Le premier et le deuxième groupe de descripteurs n'ont pas été combinés par l'opérateur ET : cela aurait été trop restrictif, dans la mesure où les études (sauf de systématique) sur Ampelomyces quisqualis seul étaient également intéressantes. La recherche a été sauvegardée de la base Pascal sur la base Pasc73.

Pour l'interrogation de Biosis qui a été effectuée par la suite, et à laquelle je n'ai pu participer directement, l'équation de recherche peut être résumée ainsi :

(1) ET (2)

Cette équation de recherche plus restrictive, a entraîné du silence (références intéressantes non retrouvées), et les notions d'hyperparasitisme et de lutte biologique n'y sont pas présentes.

Pour les deux interrogations, (Pascal/Pasc73 et Biosis), l'ensemble des bases a été questionné, sans sélectionner de section particulière. La recherche, dans chaque cas, a été effectuée par descripteurs libres.

2-3 Résultats de l'interrogation des bases de données :

L'interrogation de la base PASCAL a donné 37 références au total (25 sur le fichier Pascal, et 12 sur le fichier Pasc73). L'interrogation de la base BIOSIS n'a donné que 23 références, dont 18 communes avec PASCAL.

Ces faibles résultats s'expliquent par la nature du sujet, sur lequel peu de recherches ont été effectuées jusqu'à présent. Cependant l'interrogation de Biosis a probablement produit un silence assez important ; on pouvait d'ailleurs espérer un plus grand nombre de références, ainsi que davantage de références nouvelles par rapport à l'interrogation de Pascal, du fait de la spécialisation de la base Biosis dans les Sciences biologiques, et du recouvrement géographique différent des deux bases.

Sur les 37 références résultant de la première interrogation, 19 correspondent au sujet, soit un coefficient de pertinence de 51% ; 12 parmi ces références pertinentes concernent Ampelomyces quisqualis. Pour la base Biosis, on trouve 18 références pertinentes (soit un coefficient de 78%) ; 17 de ces références traitent d'Ampelomyces quisqualis.

La pertinence des références obtenues est donc satisfaisante ; il était cependant décevant de ne trouver que trois autres microorganismes faisant l'objet d'expérimentations en vue d'un contrôle biologique des Oïdiums.

3 - ACCES AUX DOCUMENTS PRIMAIRES

l'ensemble des références intéressantes obtenues par l'interrogation des bases de données bibliographiques, puis dans un deuxième temps par citation en fin de publication, citaient pour la plupart des publications dans des périodiques spécialisés (quelques unes faisant référence à des ouvrages, tels que des comptes-rendus de colloques).

Un certain nombre de recherches sur ce sujet ont été menées dans les Pays de l'Est (U.R.S.S., Bulgarie, Roumanie,...) et ces références (obtenues lors des interrogations, ou par citation en fin de publication) n'ont pas été sélectionnées, n'étant pas traduites en français, allemand ou surtout anglais.

Des tirés à part de publication ont été demandés en Inde, au Japon, en Grande-Bretagne, en Allemagne fédérale, en Norvège,... pour des publications non accessibles en France par prêt inter-bibliothèques ou par le C.N.R.S. ; les seuls tirés à part reçus ont été envoyés par M. Sundheim en Norvège.

Un certain nombre de textes paraissant dans des revues de phytopathologie très spécialisées ont été obtenus grâce au Service documentation de Rhône-Poulenc Agrochimie (centre de recherche de La Dargoire).

Au total, seulement 20 textes concernant la lutte biologique par microorganismes contre les Oïdiums ont été réunis. Ceci fait apparaître d'une part le problème de la langue, les publications n'étant malheureusement pas systématiquement traduites en anglais scientifique, et les résumés bien insuffisants ; d'autre part le problème important en documentation, de l'accès aux documents primaires (soit ici, à des périodiques très spécialisés).

III- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1 - GENERALITES SUR LES OIDIUMS ET LES METHODES DE LUTTE

1-1 Généralités :

Les Oïdiums sont des champignons Ascomycètes Pyrénomycètes (asque unitonique), de l'ordre des Erysiphales (cléistothèces contenant des asques ordonnés), formant la famille des Erysiphacées.

Ce sont des parasites obligatoires, mais externes (cependant dans les genres Leyeillula et Phyllactinia, le mycélium pénètre les tissus de l'hôte). Ils couvrent la surface des feuilles et des jeunes rameaux, leur donnant l'aspect d'une poudre blanche, d'où le nom de "blanc" donné à la maladie. Les hyphes se fixent généralement par des appressoriums, et émettent des suçoirs (ou haustoriums) dans les cellules.

L'Oïdium du concombre Sphaerotheca fuliginea, par exemple, donne les symptômes suivants : les plants sont fortement parasités en deux ou trois semaines ; les feuilles les plus basses vieillissent prématurément et tombent, la surface photosynthétique est très réduite d'où un faible rendement.

Dans le stade imparfait, le mycélium aérien forme de petits conidiophores, qui donnent par désarticulation de très nombreuses conidies propagatrices de la maladie. Il existe trois types de stades imparfaits, selon la forme des conidies : Oïdium, Oïdiopsis, Ovulariopsis.

En fin de saison, il peut apparaître en surface des organes malades, des cléistothèces (fructifications de la phase sexuée contenant les asques), brunes ou noirâtres, de 0,1 ou 0,2 mm de diamètre. Ces périthèces portent des fulcres (expansions) caractéristiques de cette famille, utilisés pour identifier les genres et les espèces.

On distingue généralement 7 genres d'Oïdiums : Erysiphe, Sphaerotheca, Microsphaera, Podosphaera, Uncinula, (ces genres ont un stade imparfait Oidium) ; Leyeillula (stade imparfait Oïdiopsis) ; Phyllactinia (stade imparfait Ovulariopsis).

Contrairement à de nombreux champignons parasites favorisés par un temps pluvieux, ces champignons exigent peu d'humidité et préfèrent les climats secs et chauds.

Les Oïdiums sont distribués dans le monde entier, sur des végétaux variés. Leur spécificité est variable, parfois réduite à une espèce ou un genre-hôte, mais le plus souvent assez large (concernant généralement une famille de plantes ; ainsi Sphaerotheca fuliginea parasite les Cucurbitacées, et Erysiphe graminis, les graminées).

1-2 Méthodes de lutte :

Les diverses méthodes de lutte classiquement employées en Phytopathologie ont été essayées contre ces parasites : méthodes culturales, sélection de variétés résistantes, lutte chimique par des fongicides, lutte biologique...

En ce qui concerne l'emploi de fongicides, le soufre (employé dès 1802) reste la substance de base la plus utilisée et la plus efficace. (le soleil l'oxyde en SO₂, qui "brûle" les conidies). D'autres substances chimiques sont utilisées, sur les cultures particulièrement sensibles au soufre ; mais les Oïdiums développent une tolérance vis-à-vis de plusieurs de ces fongicides (par contre ils ne semblent pas avoir acquis de résistance vis-à-vis des produits à base de soufre, malgré son utilisation ancienne).

La lutte biologique, à l'aide de microorganismes uniquement, a également été tentée :

La plupart des expériences qui ont été réalisées utilisent le champignon Ampelomyces quisqualis ; cependant quelques essais de contrôle biologique par d'autres microorganismes ont été tentés. Toutes ces tentatives n'ont toutefois pas encore abouti à un contrôle réellement efficace des Oïdiums, autre qu'à titre expérimental dans des conditions d'environnement particulières.

Actuellement la lutte contre les Oïdiums reste au premier plan des recherches en Phytopathologie, et ce groupe de champignons parasites, l'un des plus étudiés.

2 - LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LES OIDIUMS PAR AMPELOMYCES QUISQUALIS

2-1 Généralités sur Ampelomyces quisqualis :

Ce champignon a été reconnu comme distinct des Oïdiums qu'il parasite, par Cesati en 1852. Puis, De Bary en 1870, a étudié la relation de parasitisme entre ce champignon et l'Oïdium-hôte et dénommé l'hyperparasite Ciginnobolus cesatii, nom qui a été conservé jusqu'à une révision systématique faite par Rogers en 1959 (12), qui a dénommé ce champignon Ampelomyces quisqualis.

Ampelomyces quisqualis est classé dans les Deutéromycètes (champignons "imparfaits", dont la phase sexuée est inconnue), dans l'Ordre des Sphaeropsidales ou Phomales (conidies se formant dans des fructifications de type pycnide). Cependant, des observations au microscope électronique à balayage (Hashioka, 1980: réf.29) ont mis en évidence des corpuscules à proximité du pore septal des cloisons des cellules des pycnides ; il peut s'agir des Corps de Woronine, de sorte que ce champignon représente sans doute la phase imparfaite d'un Ascomycète.

Ampelomyces quisqualis est un parasite commun des Erysiphacées, en particulier des Oïdiums, vis-à-vis desquels il ne présente pas de spécificité particulière ; il est largement distribué dans le monde. Ce champignon est un parasite facultatif, il se comporte parfois en saprophyte.

2-2 Méthodes de culture in vitro :

Ce champignon est cultivable in vitro, ce qui facilite considérablement les études expérimentales et permet les essais de lutte biologique. Les principaux milieux employés pour la culture in vitro d'*Ampelomyces quisqualis*, donnant lieu à la formation des conidies, sont les suivants :

- Milieu de Asthana et Hawker :

glucose : 5,0 g.
KNO : 3,5 g.
KH PO : 1,75 g.
MgSO : 0,75 g.
pour 1 litre d'eau distillée.

(réf.13)

- Milieu Agar à 4% d'extrait de malt, avec 0,2% de DL-asparagine (pH 6,5).

(réf.19).

- Milieu Czapek-Dox modifié :

- 1% Biomalt
- 0,2% extrait de
- 0,3% NaNO
- 0,1% KH PO
- 0,05% MgSO 7 H O
- 0,05% KCl
- 0,001% FeSO 7 H O

(réf.1)

- Milieu V8 (qui semble le plus favorable à la conidiogenèse) :

200 ml de jus de légume
25 g CaCO₃
20 g Agar

pour 1 litre d'eau distillée.

(réf.14, 15, 16, 17)

Les cultures sont incubées à 20-22°C, température optimum pour la conidiogenèse. Elles reçoivent une lumière blanc fluorescent 12 heures par jour, et les longueurs d'onde du proche-ultraviolet peuvent être utilisées, la première semaine de culture, pour induire la formation des conidies (15).

Les suspensions aqueuses de conidies utilisées pour l'inoculation de l'hyperparasite aux Oïdiums sont préparées à partir de cultures généralement âgées de deux semaines, et vaporisées sur les plants infectés par les Oïdiums.

Ces suspensions peuvent éventuellement être centrifugées puis lyophilysées pour stockage jusqu'à leur emploi ultérieur.

L'addition d'extrait de levure à la suspension, stimule la germination conidienne. Du surfactant (Tween 80) peut également être ajouté à la suspension.

2-3 Morphologie d'*Ampelomyces quisqualis* :

Le mycélium est hyalin à brun pâle, et cloisonné ; les hyphes ont un diamètre de 2 à 3 μm , soit le tiers environ des hyphes des Oïdiums.

Dimension des pycnides : 40-105 μm \times 30-50 μm ; ils sont globuleux à pyriformes, brun pâle ; la déhiscence s'effectue par rupture apicale, libérant les pycnidiospores ou conidies.

Il n'y a pas de conidiophores, mais des cellules conidiogènes formant par développement entéroblastique, de petites conidies cylindriques à fusiformes, brun pâle, non cloisonnées, à paroi épaisse (dimensions : 4-6,5 \times 2-2,5 μm)

Ces conidies ont en général un seul tube germinatif, rarement dichotomique.

Comme l'ont étudié plusieurs auteurs (5, 20), il existent des sous-espèces présentant des caractéristiques morphologiques et physiologiques distinctes, selon l'Oïdium parasité.

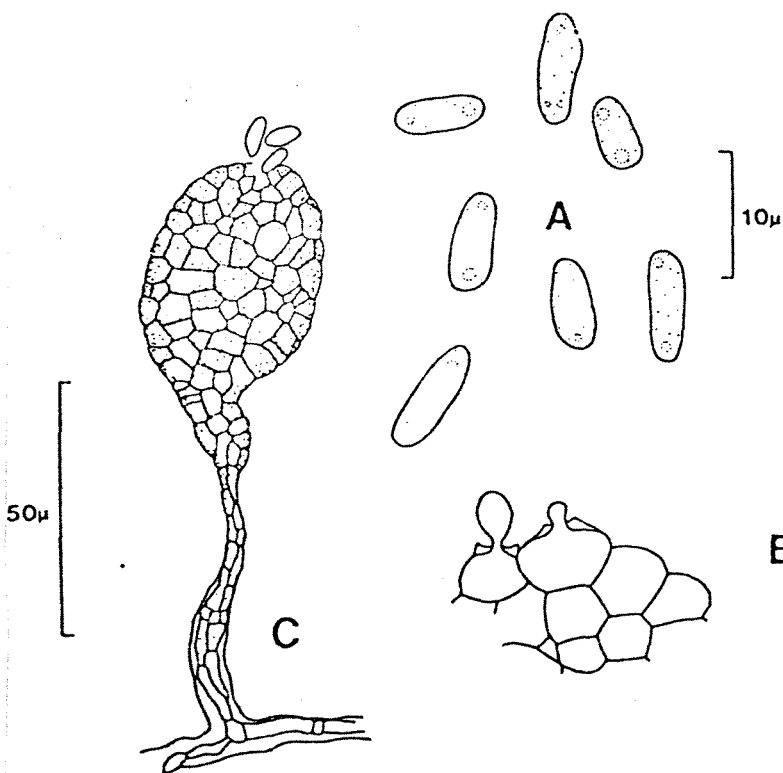
Fig.1 : *Ampelomyces quisqualis* :

A : conidies

B : cellules conidiogènes développant des conidies

C : pycnide où se forment les conidies

(Dessins tirés de l'ouvrage "The Coelomyces" de B. C. Sutton)



2-4 Physiologie d'Ampelomyces quisqualis :

1°/ Influence des facteurs biotiques :

D.N. Mhaskar en Inde (5) a étudié la morphologie et le comportement en culture in vitro de 5 isolats d'Ampelomyces quisqualis provenant d'Oïdium parasitant 5 hôtes appartenant à des familles diversifiées (Malvacées, Papilionacées, Balsaminacées, Euphorbiacées, Composées).

Il observe des variations significatives dans la taille et la forme des pycnides et des conidies, selon les isolats et conclue à l'existence de formes physiologiques distinctes, selon les hôtes des Oïdiums.

2°/ Influence des facteurs de l'environnement :

L'influence des facteurs de l'environnement sur la croissance mycélienne, la formation des pycnides et la conidiogenèse, la germination des conidies, a principalement été étudiée par les chercheurs Mhaskar, en Inde, (6, 13), et Philipp, en R.F.A. (8).

Ces études ont été réalisées in vitro, avec des cultures sur milieux Agar de souches variées d'Ampelomyces quisqualis, provenant de divers Oïdiums-hôtes.

- Facteur Eclairage :

un éclairage 12h par jour blanc fluorescent convient bien au développement in vitro du champignon. La lumière facilite la formation des pycnides et la sporulation (conidiogenèse). A l'obscurité totale, les souches étudiées (6) montrent généralement une réduction considérable du nombre des pycnides, alors que la croissance végétative reste stable. (Cependant quelques souches d'A. quisqualis testées ne présentent pas de réduction notable du développement des pycnides à l'obscurité).

Certaines souches d'A. quisqualis présente une zonation des cultures (pycnides en cercles concentriques) lorsqu'elles sont exposées à la lumière du jour.

Les longueurs d'onde du proche UV aident à l'induction des pycnides.

- Facteur Humidité relative atmosphérique :

Un taux d'humidité relative proche de la saturation en vapeur d'eau est favorable à la germination des conidies, comme plusieurs auteurs l'ont mis en évidence (4, 8, ...), et des conditions de haute humidité relative sont nécessaires pour une forte infection de l'Oïdium-hôte par l'hyperparasite (8).

- Facteur Température :

La température optimum pour la croissance mycélienne d'A. quisqualis en culture in vitro est de 20°C, et c'est également la température donnant un taux maximum de germination des conidies (entre 40 et 90% selon les souches) (8).

A 40°C la croissance mycélienne de l'hyperparasite est totalement inhibée in vitro.

- Facteurs nutritifs :

Le pH du milieu de culture permet la meilleure croissance mycélienne et sporulation lorsqu'il est compris entre 5,5 et 7.

Cependant le champignon supporte bien une assez large gamme de pH.

L'azote sous forme de nitrates de potassium, sodium ou ammonium permet un bon développement de l'hyperparasite en culture.

Les acides aminés stimulent aussi la croissance végétative et la conidiogenèse, de même que les vitamines ajoutées au milieu (13).

3°/ Stimulation de la germination conidienne par les Oïdiums et d'autres champignons :

Sundheim (14) a mis en évidence une stimulation de la germination conidienne par l'addition d'extrait de levure.

Il a également démontré l'existence de substances stimulatrices chez les Oïdiums, ainsi que chez d'autres champignons non parasités par Ampelomyces quisqualis.

- Stimulation par extrait de levure :

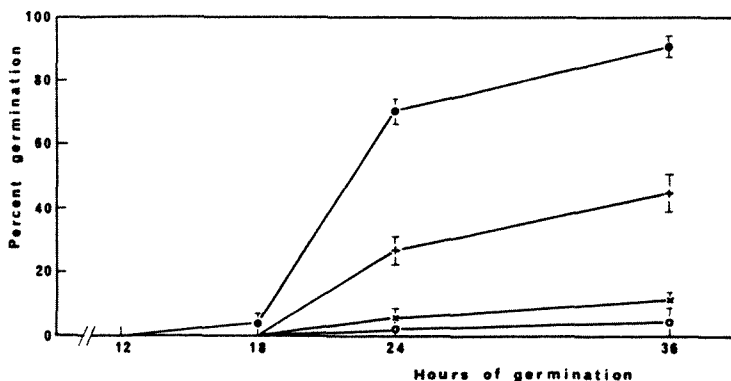
Dans l'eau distillée stérile, moins de 10% des conidies germent, après 36 heures ; les tubes germinatifs sont anormaux et mesurent, au plus, seulement deux fois la longueur des conidies. Par contre, dans de l'eau distillée additionnée d'un extrait de levure à 0,1%, le taux de germination est proche de 100% et les tubes germinatifs ont une longueur égale à environ 20 fois la longueur des conidies.

- Stimulation par l'Oïdium-hôte (S. fuliginea dans cette expérience):

Dans une suspension à 0,1% d'ultrasonicat de Sphaerotheca fuliginea à la concentration de 10000 ppm, le taux de germination des conidies d'Ampelomyces quisqualis atteint environ 90%, et les tubes germinatifs sont aussi long que dans l'expérience avec extrait de levure. L'effet du pH n'est pas significatif. Le taux de germination diminue avec la concentration en ultrasonicat de l'Oïdium (Figure 2).

Fig. 2 : Germination des conidies d'Ampelomyces quisqualis en fonction de différentes concentrations d'ultrasonicat de Sphaerotheca fuliginea.

● 10000 ppm ; + 1000 ppm ; X 100 ppm ; ○ eau distillée.



La substance stimulatrice est thermostable (elle a la même activité après passage à 100°C) et dialysable. Elle est captée par une résine échangeuse de cations, ce qui supprime l'activité de la solution (de la suspension d'ultrasonicat).

Cette substance a un poids moléculaire compris entre 1200 et

1500 (estimation basée sur l'activité des fractions de la suspension séparées par filtration sur gel Sephadex). Elle n'est pas spécifique de l'hyperparasite, et stimule aussi la germination des champignons Ascochyta cucumis et Trichoderma viride.

- Stimulation par des champignons non-hôtes :

La germination des conidies d'Ampeomyces quisqualis est également augmentée par des suspensions d'ultrasonicats d'Oïdium non hôte pour les souches d'A. quisqualis expérimentées (expérience réalisée avec Erysiphe graminis), ainsi que par des suspensions d'ultrasonicats de champignons non parasités par A. quisqualis (expérience avec les champignons Rhizogtonia solani et Coprinus comatus).

2-5 Relation d'hyperparasitisme avec l'Oïdium-hôte :

1°/ Localisation de l'hyperparasite :

En 1870, De Bary observe la présence des hyphes d'*Ampelomyces quisqualis* à l'intérieur des hyphes végétatifs et des structures reproductrices (conidiophores et cléistothèces) de l'Oïdium-hôte, et conclue donc à une relation de parasitisme entre les deux champignons.

Les pycnides de l'hyperparasite (Figure 3) se développent le plus souvent dans les conidiophores de l'hôte, mais en fin de saison ils ont été également observés à l'intérieur des fructifications (cléistothèces) de l'Oïdium (17).

Fig. 3: Observation au microscope électronique à balayage : Pycnide (P) et conidies (C) d'*A. quisqualis* sur hyphes de *Sphaerotheca fuliginea*. (la barre représente 10 μ m)
(Photographie extraite de la référence 17)



2°/ Voies et mécanismes de pénétration :

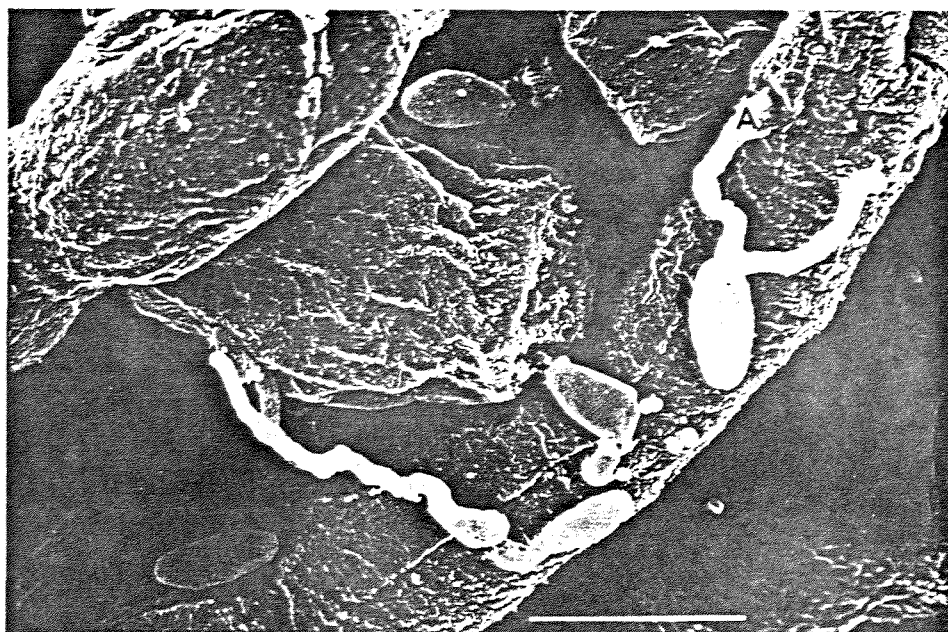
L. Sundheim (17) a étudié l'interface hôte-hyperparasite, par des observations en microscopie électronique (étude à partir de plants de concombre inoculés par *Sphaerotheca fuliginea* puis par une suspension conidienne de l'hyperparasite).

Les tubes germinatifs des conidies de l'hyperparasite peuvent développer une longueur considérable à la surface de la feuille ; il semble qu'il n'y a pas, au départ, d'attraction particulière de ces tubes germinatifs vers les hyphes de l'Oïdium. Cependant, une fois les hyphes d'Oïdium infectés, il pourrait y avoir une attraction chimique des hyphes de l'hyperparasite vers les hyphes de l'Oïdium.

Les hyphes puis les chaînes conidiennes et les conidies de l'Oïdium-hôte sont parasités par pénétration. Il est observé une

nette augmentation de diamètre de l'extrémité de l'hyphe en pénétration ; au point de contact avec l'Oïdium, les tubes germinatifs de l'hyperparasite semblent en effet développer une structure d'attachement et de pénétration de type appressorium (Fig. 4).

Fig. 4: Observation en microscopie électronique à balayage : Tubes germinatifs dichotomiques (cas peu fréquent) d'A. quisqualis sur les hyphes et conidies de Sphaerotheca fuliginea, 24 heures après l'inoculation. Des appressoriums (A) sont formés aux points d'infection. (Barre = 10 μ m)
(Photographie extraite de la référence 17)



Ampelomyces quisqualis produit donc des structures de pénétration spécialisées. En outre, un dépôt de matériel fibreux est observé au point de contact, à l'interface hôte-parasite.

Des mécanismes enzymatiques sont également mis en jeu dans la pénétration de la paroi hyphale. Beuther, Philipp et Grossmann (2) ont mis en évidence certaines enzymes de dégradation de la paroi hyphale.

Ces chercheurs ont recherché la présence d'enzymes dégradant les composés polysaccharidiques pariétaux, dans des filtrats de cultures de divers isolats d'Ampelomyces quisqualis. La β -N-acétylglucosaminidase, la β -1 \rightarrow 3-glucanase et la α -1 \rightarrow 4-glucanase ont été mises en évidence pour les différents isolats testés, et la chitinase pour l'un de ces isolats seulement.

Des enzymes de dégradation de la paroi sont donc impliquées dans les mécanismes de pénétration des hyphes et conidies de l'Oïdium-hôte. Il est concevable qu'à la suite du contact hôte-parasite, sous l'influence éventuelle d'effecteurs sous-moléculaires, ces enzymes spécifiques soient induites localement.

Ces mécanismes enzymatiques jouent probablement un rôle important.

La pénétration de la paroi des cellules de l'Oïdium-hôte par les hyphes et tubes germinatifs d'Ampelomyces quisqualis combine donc des procédés mécaniques (appressorium) et enzymatiques. Ces deux types de mécanismes restent encore très peu étudiés et mal connus.

3°/ Voies et mécanismes de progression :

Emmons (28) observait dès 1930 que les hyphes d'Ampelomyces quisqualis passaient à travers les cloisons du mycélium-hôte sans déformation apparente.

Par des observations en microscopie électronique, Hashioka et ses collaborateurs ont constaté en 1980 (29) que les hyphes de l'hyperparasite progressent de cellule en cellule, à l'intérieur des hyphes de l'Oïdium-hôte, par constriction à travers les pores septaux.

4°/ Résultats de l'infection :

Au fur et à mesure de la progression des hyphes d'Ampelomyces quisqualis à l'intérieur des cellules-hôtes de l'Oïdium (hyphes, conidiophores, conidies), celles-ci dégèrent progressivement et se nécrosent ; A. quisqualis est un parasite nécrotrophique.

Sundheim (17) note qu'au premier stade de l'infection, peu ou aucun changement ne survient au niveau du protoplasme des cellules-hôtes. Par la suite, une zone hyaline entoure le point d'infection. La désintégration des cellules se produit 4 ou 5 cellules en avant de l'hyphes parasite.

L'Oïdium prend une couleur gris terne, ses colonies sont plates et leur extension est freinée. La sporulation diminue ; or ce sont les conidies qui constituent l'élément essentiel de la dissémination de l'Oïdium.

5°/ Recherche d'une toxine :

Beuther(1) a recherché l'existence d'une toxine produite par A. quisqualis et qui inhiberait la croissance mycélienne et la germination des conidies de l'Oïdium-hôte Sphaerotheca fuliginea.

In vitro, dans les conditions expérimentales de cette étude, l'existence d'une telle toxine n'a pas été démontrée.

L'influence de différentes fractions provenant de cultures d'Ampelomyces quisqualis âgées de 10 jours (mycélium, ou filtrat de culture ; phase lipidique ou aqueuse) ne présente pas de différences significatives, qu'il s'agisse de l'effet sur la croissance mycélienne ou sur la germination des conidies de S. fuliginea (Tableau 1).

Tableau 1 : Influence des extraits de cultures d'Ampelomyces quisqualis âgées de 10 jours sur la croissance mycélienne et la germination des conidies de l'Oïdium S. fuliginea. Témoin(extrait de milieu de culture non traité)=100.

nature de l'extrait	croissance mycélienne	germination des conidies
phase liposoluble, à partir du mycélium d' <u>A. quisqualis</u>	100	112
phase hydrosoluble, à partir du mycélium d' <u>A. quisqualis</u>	81	118
phase liposoluble, à partir du filtrat de culture	96	98
phase hydrosoluble, à partir du filtrat de culture	142	121

(Tableau extrait de la référence 1).

L'âge des cultures d'A. quisqualis utilisées n'a pas d'influence significative (entre 6 et 27 jours) sur la germination des conidies de l'Oïdium.

La nature des mécanismes de l'infection de l'Oïdium par Ampelomyces quisqualis, conduisant à l'arrêt de son extension, n'est donc pas connue ; on ignore si des toxines, produites par Ampelomyces quisqualis au cours de l'infection, sont impliquées.

2-6 Expériences en vue du contrôle des Oïdiums :

Les essais de lutte contre les Oïdiums par Ampelomyces quisqualis ont consisté en l'inoculation d' Oïdiums infectant des plants (infection naturelle ou par inoculation artificielle) par des suspensions de spores (conidies) de l'hyperparasite, soit en champ, soit plus fréquemment en serre.

Dans les premières expériences réalisées, l'inoculation de l'hyperparasite est faite en l'absence de traitement fongicide. Les résultats n'étant pas suffisants, la tolérance d'Ampelomyces quisqualis aux fongicides a par la suite été testée, et quelques expériences de contrôle intégré, combinant l'hyperparasite avec un emploi modéré de fongicides, ont été réalisées.

Les principales expériences sont résumées ci-dessous.

1°/ Expériences de contrôle biologique :

Les premières expériences d'inoculations d'Ampelomyces quisqualis ont été faites en 1931 aux Etats-Unis, par Yarwood (20).

L'hyperparasite étant isolé à partir de différents Oïdiums-hôtes, les inoculations sont faites par vaporisation d'une suspension de conidies de l'hyperparasite, sur des colonies d'Oïdium en pleine extension. Sur des plots expérimentaux de trèfle rouge, l'Oïdium Erysiphe polygoni est ainsi presque complètement détruit en 8 jours environ, à 25°C.

Odintsova en 1975 (7) obtient un certain contrôle de l'Oïdium du pommier Podospheera leucotricha par applications de suspensions de spores d'Ampelomyces quisqualis. Le rendement en fruits est ainsi amélioré.

Au Canada, Jarvis (4) expérimente en 1977 la lutte biologique en serre sur des plants de concombre infectés par l'Oïdium du concombre Sphaerotheca fuliginea, en utilisant une souche d'Ampelomyces quisqualis isolée sur S. fuliginea sur courge.

Les plants de concombre sont cultivés sur sol stérilisé à la vapeur. La température ambiante est comprise entre 21 et 27°C. Les traitements sont effectués dès l'apparition des premières colonies d'Oïdiums, en l'absence de tout fongicide. Différents traitements sont testés :

- Vaporisation du feuillage (avec une suspension d'environ 10 conidies /ml d'A. quisqualis) toutes les semaines
- Vaporisations d'eau en complément aux vaporisations précédentes (alternées)
- Vaporisations d'eau seule
- Témoins non traités.

A. quisqualis se propage rapidement sur les colonies d'Oïdium; des vaporisations d'eau en alternance avec les vaporisations de spores, accélèrent cette extension de l'hyperparasite.

On constate que les plants traités avec A. quisqualis et des vaporisations complémentaires d'eau en alternance, ont un faible développement de l'Oïdium, et donc un haut rendement en fruits.

Il apparaît cependant que A. quisqualis se développe aussi sur les plants eux-mêmes, créant des lésions (points de nécrose) sur les cotylédons et surtout les fruits, ce qui dégrade leur qualité commerciale. Des expériences sur plants en pots confirment que ce champignon peut infecter les cotylédons et les tissus foliaires en moins de 4 heures, dans une atmosphère humide, à 20-25°C.

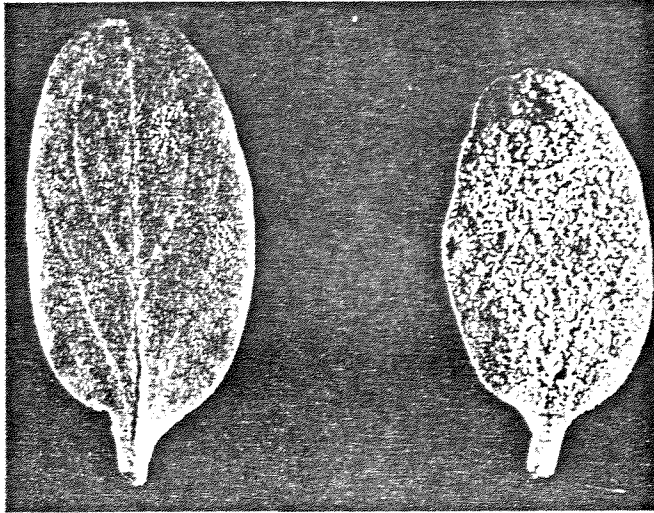
Avec certaines précautions dans l'emploi des vaporisations (pour éviter une atteinte des plants par l'hyperparasite), il semblait donc possible de réaliser, en serre, le contrôle biologique de l'Oïdium du concombre par Ampelomyces quisqualis.

En 1978, en Norvège, L. Sundheim (16) obtient un meilleur contrôle de l'Oïdium lorsque la température ambiante est de 21°C, et lorsque les plants sont exposés à un air saturé en vapeur d'eau pendant 24 heures, ce qui facilite l'infection par Ampelomyces quisqualis.

Philipp et Crüger (8) en 1979, rapportent un bon contrôle de Sphaerotheca fuliginea sur des plants de concombre en serre et en champ, par des vaporisations hebdomadaires de spores de l'hyperparasite (Fig. 5).

Cependant pour les cultures en plein air, un temps humide est nécessaire à l'infection de l'Oïdium par l'hyperparasite.

Figure 5 : cotylédons de concombre parasités par S. fuliginea.
à gauche : cotylédon inoculé par A. quisqualis
à droite : cotylédon non traité



(Photographie extraite de la référence 8)

Sztejnberg en 1979 (19), réussit par des inoculations répétées tous les dix jours, le contrôle biologique en serre, des Oïdiums suivants :

- Sphaerotheca fuliginea sur le concombre et le melon d'eau
- Erysiphe betae sur la betterave à sucre
- Erysiphe umbelliferarum sur la carotte
- Podosphaera leucotricha sur le pommier
- Phyllactinia suffulta sur le mûrier
- Leveillula taurica sur le poivre

Après inoculation par suspension conidienne d'A. quisqualis, les plants parasités par les Oïdiums sont placés 24-36 heures en chambre humide, puis transférés en serre. Au bout de 8 jours environ, il y a déjà une dégénérescence de l'Oïdium et une très forte baisse de sporulation, dues au développement des pycnides de l'hyperparasite.

2°/ Tolérance aux fongicides :

Sundheim (15) et Philipp (8-9) ont testé la tolérance, in vitro et in vivo, de l'hyperparasite à divers fongicides employés contre les Oïdiums, en vue d'un contrôle intégré.

Pour l'étude in vitro, les fongicides expérimentés sont incorporés à diverses concentrations, au milieu de culture, puis ces milieux sontensemencés avec des inoculums de taille égale provenant de cultures d'Ampelomyces quisqualis en pleine croissance mycélienne.

W. Philipp et G. Crüger (8) observent les effets de fongicides variés (chinométhionate, dinobuton, triforine ...) à la concentration de 10 ppm., sur le taux de germination des conidies d'A. quisqualis, et sur la croissance mycélienne en culture.

Le carbendazim (MBC) inhibe totalement la croissance végétative du champignon, tandis que la germination des conidies n'est que faiblement inhibée (taux de germination de 20 à 40%

selon les souches).

La triforine est le fongicide qui a le moins d'action sur la croissance mycélienne de l'hyperparasite ; la germination est observée avec un taux réduit à 20% par rapport aux témoins.

Les autres fongicides ralentissent la croissance mycélienne d'une façon plus ou moins marquée, et diminuent tous le taux de germination des conidies.

Par ailleurs, *Ampelomyces quisqualis* montre in vivo et in vitro, une bonne tolérance au triadiméfon et au pyrazophos, et une tolérance variée envers les matières actives du ditalimfos et de l'iprodion, selon son état de développement (9).

Philipp et Kirchhoff (10) ont étudié la transformation métabolique du triadiméfon, bien toléré par l'hyperparasite. Le champignon convertit ce fongicide systémique en triadiménol (composé plus fongitoxique). L'inhibition modérée de la croissance mycélienne et de la biosynthèse des stéroïdes explique cette bonne tolérance au triadiméfon observée dans les expériences précédemment réalisées.

L. Sundheim et T. Amundsen (15) ont étudié les effets de 11 fongicides sur *A. quisqualis*, d'une part in vitro par incorporation au milieu de culture du fongicide testé (à la concentration de 10, 100 ou 1000 ppm. de matière active), d'autre part dans des expériences d'inoculations avec l'*Oidium Sphaerotheca fuliginea*.

Le nitrothal-isopropyl et la triforine se révèlent être les produits inhibant le moins la croissance du mycélium d'*A. quisqualis*. Le benomyl (fabriqué à partir de carbendazim) inhibe totalement la croissance mycélienne. Ces résultats confirment ceux obtenus précédemment par Philipp.

Dans une autre expérience, après inoculation d'*Oidium* à de jeunes germinations de concombre, les cotylédons sont détachés et mis à tremper sur une solution de fongicide ; puis ces cotylédons sont inoculés avec une suspension conidienne d'*A. quisqualis*. Du fait de la volatilité plus ou moins forte des produits, les résultats sont difficiles à interpréter ; il est difficile de déterminer si le développement réduit de l'hyperparasite qui est observé, est bien dû à une inhibition par les fongicides. A la concentration 10 ppm., les fongicides n'ont qu'une faible action inhibitrice ; il semble qu'à la concentration 100 ppm., le benomyl, le triadiméfon et le dinocarp réduisent de façon marquée le développement de *A. quisqualis*. A la plus haute concentration de triforine, les feuilles sont endommagées.

Une expérience utilise des germinations de concombre en serre, inoculées par *S. fuliginea* au stade 2 feuilles. Après une semaine, une suspension de spores d'*A. quisqualis* est vaporisée ; puis les plants, transférés 24 heures en chambre humide, sont ensuite vaporisés avec le fongicide, et l'hyperparasitisme évalué 5 jours après. La triforine et le nitrothal-isopropyl inhibent peu l'infection de l'*Oidium* par l'hyperparasite. Tous les fongicides se révèlent moins inhibiteurs du développement d'*A. quisqualis*, lorsqu'ils sont employés à un taux égal à la moitié du taux recommandé.

En conclusion, les fongicides testés n'ont pas la même action sur la croissance mycélienne in vitro, et sur des plants infectés

inoculés par l'hyperparasite. Ainsi, le benomyl inhibe totalement la croissance du champignon sur milieu Agar, tandis qu'il permet un hyperparasitisme modéré in vivo.

La triforine se révélant un fongicide inhibant assez faiblement l'hyperparasitisme d'*A. quisqualis*, a été testée dans des essais de contrôle intégré.

3°/ Expériences de contrôle intégré :

Sundheim, en 1982 (16), expérimente le contrôle de l'Oïdium du concombre *Sphaerotheca fuliginea* par une suspension de conidies à 10 spores par ml d'*Ampelomyces quisqualis* (souche isolée à partir d'une Cucurbitacée, et cultivée in vitro).

Les expériences sont faites en serre, sur des plants inoculés au stade 4 feuilles par *S. fuliginea*, ainsi que sur des cultures commerciales infectées naturellement durant l'été par *Erysiphe cichoracearum* puis par *S. fuliginea*.

Le fongicide expérimenté (au taux recommandé par le fabricant N, et au taux N/3) diffère selon l'Oïdium en cause : triforine (soit 0,15% de SaproI au taux N) contre *S. fuliginea*, et quinométhionate (soit 0,05% de Morestan au taux N) contre *E. cichoracearum* (Oïdium tolérant bien la triforine).

- Expérience sur plants inoculés par *S. fuliginea* :

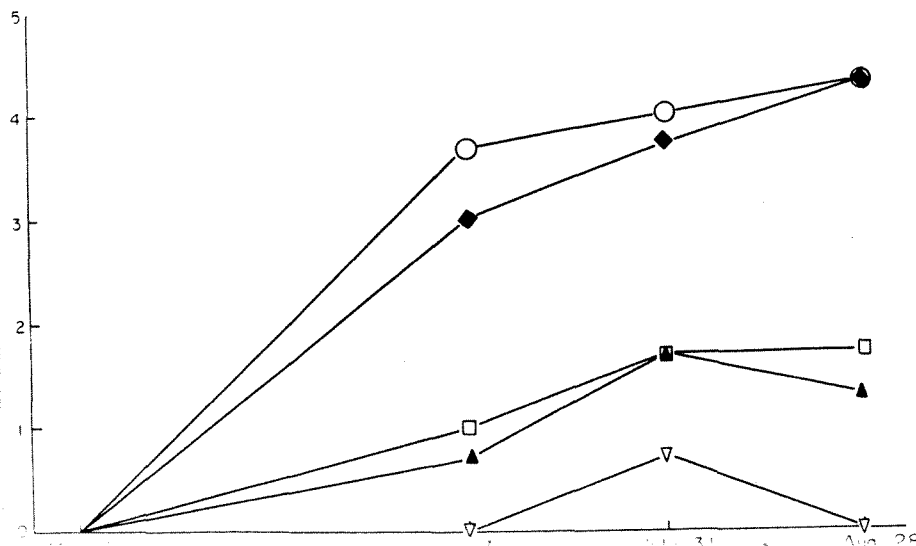
Dès l'apparition des premières colonies d'Oïdium, les plants sont vaporisés en alternance chaque semaine, soit par une suspension conidienne d'*A. quisqualis*, soit avec la triforine.

La triforine contrôle efficacement l'Oïdium ; par contre les plants traités par l'hyperparasite seul ont autant d'Oïdium que les témoins non traités. (Figure 6)

A. quisqualis se propage abondamment sur les plants où il est vaporisé.

Les différences de rendement selon les divers traitements actifs (fongicides, suspension conidienne) ne sont pas significatives. Cependant le plus haut rendement correspond aux plants traités au taux N/3 de triforine (augmentation de 50% par rapport aux témoins).

Fig. 6 : Extension de l'Oïdium sur plants de concombre inoculés par *S. fuliginea* et traités avec : ♦ *A. quisqualis*, ▲ *A. quisqualis* et N/3 triforine, □ N/3 triforine, ▼ N triforine, ○ vaporisations d'eau. (N=taux recommandé de triforine = 0,15% de SaproI). (Figure extraite de la référence 16).



- Expériences sur cultures commerciales infectées naturellement :

Le développement d'Erysiphe cichoracearum est rapide, et le parasite se développe à profusion même sur les plants vaporisés avec l'hyperparasite. Cependant l'Oïdium est très fortement parasité par l'hyperparasite, sur les plants vaporisés avec une suspension conidienne, et sur ceux vaporisés avec une suspension conidienne en alternance avec un taux réduit de quinométhionate.

Il n'y a pas de différence significative de rendement selon les traitements ; cependant le plus fort rendement correspond aux plots traités avec l'hyperparasite, et le plus faible rendement, au traitement au taux recommandé N de quinométhionate.

Tous ces résultats montrent que l'hyperparasite peut être capable d'empêcher la réduction de rendement provoquée par les Oïdiums.

Des taux réduits de fongicides contrôlent presque aussi efficacement l'Oïdium que les taux recommandés, et le rendement en est amélioré (mais la différence n'est pas significative statistiquement).

Les épidémies d'Oïdium se développant très rapidement pendant l'été, l'application d'Ampelomyces quisqualis à intervalles réguliers semble nécessaire.

Dans toutes les expériences, le développement de l'Oïdium n'est pas ralenti lorsque le traitement consiste en une vaporisation de suspension conidienne seule. Cependant, le rendement de la récolte est augmenté ; cette augmentation est semblable, que les plants soient traités avec l'hyperparasite ou avec les fongicides.

L'application de suspension de spores d'Ampelomyces quisqualis en alternance avec un taux de fongicide égal au tiers du taux recommandé, pourrait permettre le contrôle intégré de l'Oïdium du concombre, en serre.

4°/ Conclusion :

Les essais de contrôle biologique ou intégré ont mis en évidence la nécessité d'une forte humidité relative proche de la saturation, pour permettre une bonne infection de l'Oïdium par Ampelomyces quisqualis.

Cette condition nécessaire à l'infection, fait que la plupart des essais de contrôle biologique par ce champignon ont été faits en serre, et particulièrement pour les cultures de concombre, pour lequel les fongicides sont trop bien tolérés par l'Oïdium ; les conditions climatiques dans ces serres conviennent bien à l'hyperparasite, permettant son extension rapide et importante sur les plants infectés par l'Oïdium.

Cependant l'hyperparasite seul ne permet pas un contrôle réellement efficace de l'Oïdium, dans les expériences qui ont été réalisées. Le contrôle intégré, peut être une perspective de lutte intéressante, contre les Oïdiums, en serre.

En outre, l'étude des mécanismes de l'infection de l'Oïdium par Ampelomyces quisqualis, et de son mode d'action au niveau cellulaire et biochimique, peut permettre dans l'avenir, de mieux lutter contre les Oïdiums des plantes cultivées.

3 - LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LES OIDIUMS PAR D'AUTRES MICROORGANISMES HYPERPARASITES OU ANTAGONISTES

En dehors d'Amelomyces guisqualis, quelques autres microorganismes ont été étudiés pour leurs aptitudes à parasiter ou à empêcher le développement d'Oïdiums :

3-1 Aphanocladium album

Ce champignon Deutéromycète a été observé en 1974 en Bulgarie par Mitov N. et Ibrahim I. (35), comme parasitant l'Oïdium Erysiphe cichoracearum sur plants d'Hibiscus esculantus cultivés en serre.

On ne connaît que le stade imparfait de ce champignon, au mycélium aérien blanchâtre développant de nombreuses conidies en conditions d'environnement favorables (conditions optimales de croissance et sporulation : Température 28°C, Humidité relative 80 à 100%).

Aphanocladium album endommage les jeunes plantules d'Hibiscus au stade cotylédon et premières feuilles, mais n'est pas toxique pour les plantes plus âgées, ni pour d'autres plantes-hôtes (Concombre, Zinnia sp.,...) parasitées par les Oïdiums.

Aphanocladium album est léthal pour l'Oïdium, mais de plus ce champignon parasite également les oeufs et les larves de la Mouche de serre Trialetrodes vaporariorum.

Il est donc envisagé par ces chercheurs, une lutte biologique contre ces deux graves parasites des cultures en serre, simultanément par le même microorganisme : Aphanocladium album.

3-2 Tilletiopsis sp.

De très nombreux microorganismes sont présents à la surface des feuilles ou phylloplane ; ces microorganismes sont antagonistes à divers degrés vis-à-vis d'autres microorganismes, parmi lesquels des parasites des plantes.

En 1978, aux Etats-Unis, Hoch et Providenti(3) ont constaté l'antagonisme de Tilletiopsis sp. (levure appartenant à la famille des Sporobolomycétacées) envers l'Oïdium des Cucurbitacées Sphaerotheca fuliginea.

Tilletiopsis sp. est commun à la surface des feuilles de plantes variées ; lorsque celles-ci sont infectées par certains champignons pathogènes, on observe un développement plus important de cette levure sur les feuilles malades par rapport aux feuilles saines.

L'étude de la relation cytologique entre Tilletiopsis sp. et S. fuliginea a été menée in vitro sur des feuilles de concombre détachées et mises en culture en boîtes de Pétri (papier filtre imbibé de solution nutritive de Hoagland, lumière fluorescente continue, température 21°C, environ 100% d'humidité relative).

Tilletiopsis sp., isolé à partir de feuilles de concombre infectées par l'Oïdium, est cultivé sur milieu Potato-Dextrose Agar à 22°C. Des suspensions de spores dans de l'eau distillée

stérile, sont réalisées à partir de ces cultures âgées de deux semaines, la concentration étant ajustée pour avoir environ 200 spores par cm de feuille vaporisée.

Des feuilles inoculées par *S. fuliginea*, sont ainsi vaporisées par ces suspensions. Les hyphes développés par les spores de *Tilletiopsis*, éliminent en 5 jours les hyphes et conidiophores de l'Oïdium. Si l'on diminue la concentration de la suspension (soit environ 10 spores par cm de feuille), le temps nécessaire à l'éradication du parasite est augmenté de plusieurs jours.

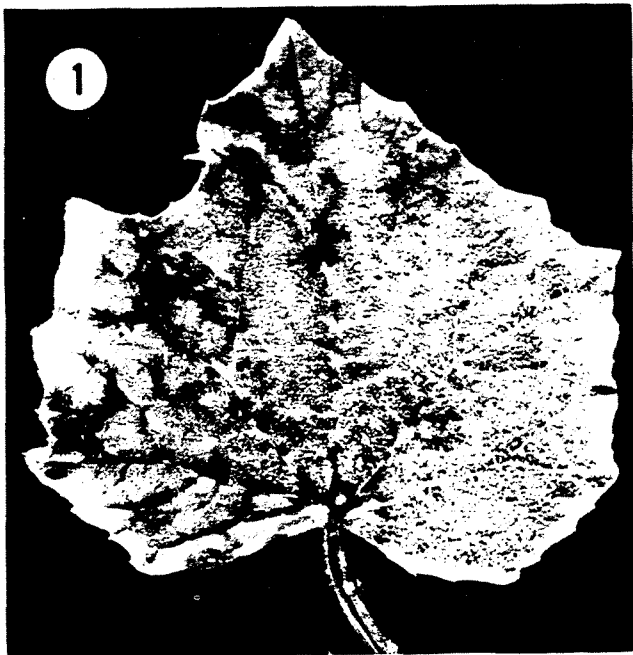
Une vaporisation préventive des feuilles, 8 jours au plus avant l'inoculation de l'Oïdium, est efficace aussi et empêche le développement du parasite (Figure 1). Au-delà de 8 jours, quelques colonies d'Oïdium isolées se développeront.

Fig.1 : Antagonisme de *Tilletiopsis* sp. envers *S. fuliginea* :

Demi-feuille gauche vaporisée 5 jours avant l'inoculation, avec une suspension de spores de *Tilletiopsis* ; demi-feuille droite vaporisée avec de l'eau puis inoculée.

Tilletiopsis sp. a éliminé *S. fuliginea* sur la partie gauche, et commence à envahir la partie droite.

(Photographie extraite de la référence 3)



Au microscope électronique à balayage, on observe un entrelacement des hyphes de *Tilletiopsis* sp. autour des hyphes et conidiophores de l'Oïdium (Figures 2 et 3). En microscopie électronique à transmission, on observe que les cellules de *S. fuliginea* en contact avec *Tilletiopsis* sp. sont nécrosées. Il ne semble pas y avoir de pénétration de l'Oïdium par les hyphes de *Tilletiopsis* sauf après nécrose ; la relation entre ces deux champignons est donc de type antagonisme (et non hyperparasitisme).

Les résultats obtenus permettent d'envisager un contrôle

biologique par Tilletiopsis sp. Cependant ces résultats ont été obtenus in vitro, sur des feuilles excisées, dans un environnement fermé, saturé en vapeur d'eau.

Des résultats similaires ont également été obtenus par antagonisme de Tilletiopsis sp. envers l'Oïdium du pommier Podosphaera leucotricha, et envers l'Oïdium de la vigne Uncinula necator.

Fig. 2 et 3 : Observations au microscope électronique à balayage : Surface d'une feuille de concombre infectée par S. fuliginea. La base du conidiophore de S. fuliginea et les hyphes adjacents sont envahis par les hyphes de Tilletiopsis sp.

Fig.2: x690 . Fig.3(détail de la Figure 2): x2760

(Photographies extraites de la référence 3)



3-3 Cladosporium sp.

En Inde, l'une des principales maladies du Mûrier (Morus alba) est l'Oïdium, causé par Phyllactinia corylea, dont le stade conidien est de type Ovulariopsis.

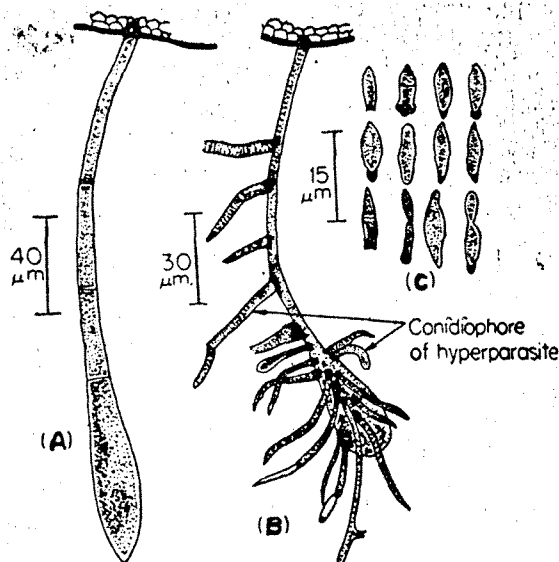
En 1981, a été observé pour la première fois par Shama Rao et Sullia (18), l'hyperparasitisme de Cladosporium sp. (champignon Hyphomycète) sur l'Oïdium du Mûrier.

Les observations microscopiques de feuilles de mûrier infectées par l'Oïdium sur lequel Cladosporium sp. était également présent, ont permis de conclure que l'Oïdium était effectivement parasité par l'Hyphomycète. En effet, les conidiophores de Cladosporium sp. se développent à partir des conidiophores et conidies de Phyllactinia corylea (Figure 4).

Cependant il n'a pas été tenté d'expériences de contrôle biologique des Oïdiums par ce microorganisme.

Fig. 4: Conidiophores et conidies de Phyllactinia corylea, hyperparasités par Cladosporium sp.

- A : conidiophores et conidies de Phyllactinia corylea non infectés.
B : conidiophores et conidies de Phyllactinia corylea montrant le développement des conidiophores de l'hyperparasite.
C : conidies de l'hyperparasite Cladosporium sp.
(Dessins extraits de la référence 18)



3-4 Autres microorganismes

Grebenchuk en 1965 a rapporté une diminution de l'infection de l'orge par l'Oïdium, lorsque les plantes sont vaporisées avec une suspension contenant des bactéries mycolytiques, ou des cultures pures de Trichoderma viride.

Des filtrats de culture de Trichothecium roseum ont également une activité contre les Oïdiums des céréales. Quelques antibiotiques se sont aussi révélés actifs contre ces Oïdiums.

Tous ces travaux n'ont pas donné suite à un usage commercial et sont demeurés au stade expérimental (23).

IV- BIBLIOGRAPHIE

1 - BIBLIOGRAPHIE SUR AMPELOMYCES GUISSUALIS, ET LA LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LES OIDIUMS PAR MICROORGANISMES HYPERPARASITES OU ANTAGONISTES

- 1 - BEUTHER (E.), PHILIPP (W.D.), GROSSMANN (F.).- Investigations on the hyperparasitism of Ampelomyces guisqualis on powdery mildew of cucumber (Sphaerotheca fuliginea).- *Phytopathol. Z.*, 101, (3), 265-270, 1981. (9 réf.)
- 2 - BEUTHER (E.), PHILIPP (W.D.), GROSSMANN (F.).- Demonstration of polysaccharide-degrading enzymes in culture filtrates of the powdery mildew hyperparasite, Ampelomyces guisqualis. *Phytopath. Z.*, 106, (4), 365-368, 1983. (9 réf)
- 3 - HOCH (H.C.), PROVVIDENTI (R.).- Mycoparasitic Relationships : Cytology of the Sphaerotheca fuliginea-Tilletiopsis sp. Interaction.- *Phytopathology*, 69, (4), 359-362, 1979. (15 réf.)
- 4 - JARVIS (W.R.), SLINGSBY (K.).- The control of powdery mildew of greenhouse cucumber by water sprays and Ampelomyces guisqualis.- *Plant Disease Reporter*, 61, (9), 728-730, 1977. (10 réf.)
- 5 - MHASKAR (D.N.).- Mycoparasite Ampelomyces guisqualis in artificial culture. I Morphology and cultural behaviour. *Mycopathol. Mycol. appl.*, 52, (1), 55-64, 1974. (15 réf)
- 6 - MHASKAR (D.N.), RAO (V.G.).- The mycoparasite Ampelomyces guisqualis Ces. in artificial culture. II Effect of environmental factors.- *Phytopath. medit.*, 13, (3), 147-154, 1974. (26 réf.)
- 7 - ODINTSOVA (O.V.).- Role of a hyperparasite, Cicinobolus cesatii D By in suppressing powdery mildew on apple trees. *Micol. i Fitopatol.*, 2, (4), 337-339, 1975. (5 réf)
- 8 - PHILIPP (W.-D.), CRUGER (G.).- Mycoparasitism of Ampelomyces guisqualis on powdery mildew of cucumber and other vegetable species.- *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz*, 86, (3-4), 129-142, 1979. (17 réf.)
- 9 - PHILIPP (W.D.), BEUTHER (E.), GROSSMANN (F.).- Investigations on the effect of fungicides on Ampelomyces guisqualis with regard to integrated control of powdery mildew of cucumber in glasshouses.- *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz*, 89, (10), 575-581, 1982. (11 réf.)
- 10- PHILIPP (W.D.), KIRCHHOFF (J.).- Interactions between triadimefon and the hyperparasite of powdery mildew, Ampelomyces guisqualis, in vitro.- *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz*, 90, (1), 68-72, 1983. (5 réf.)
- 11- PATWARDHAN (P.G.).- Factors affecting the development of the perithecial stage of powdery mildew of Helianthus annuus L. in India.- *Mycopathol. Mycol. appl.*, 27, 253-256, 1965. (5 réf.)

- 12- ROGERS (D.P.).- On Cicinobolus.- Mycologia, 51, 96-98, 1959.
- 13- RAO (V.G.), MHASKAR (D.N.).- Some nutritional studies of five isolates of Ampelomyces quisqualis Ces. - Phytopath. medit., 15, (1), 14-17, 1976. (8 réf.)
- 14- SUNDHEIM (L.).- Effects of four fungi on conidial germination of the hyperparasite Ampelomyces quisqualis.- Acta Agriculturae Scandinavica, 32, (3), 341-347, 1982. (10 réf.)
- 15- SUNDHEIM (L.), AMUNDSEN (T.).- Fungicide tolerance in the hyperparasite Ampelomyces quisqualis and integrated control of cucumber powdery mildew.- Acta Agriculturae Scandinavica, 32, (3), 349-355, 1982. (10 réf.)
- 16- SUNDHEIM (L.).- Control of cucumber powdery mildew by the hyperparasite Ampelomyces quisqualis and fungicides.- Plant pathology, 31, (3), 209-214, 1982. (11 réf.)
- 17- SUNDHEIM (L.), KREKLING (T.).- Host-parasite relationships of the hyperparasite Ampelomyces quisqualis and its powdery mildew host Sphaerotheca fuliginea. I Scanning electron microscopy.- Phytopathol. Z., 104, (3), 202-210, 1982. (21 réf.)
- 18- SHAMA RAO (S.), SULLIA (B.).- A hyperparasite of Phyllactinia coxylea, the powdery mildew of mulberry.- Current Science, 50, (17), 769, 1981. (6 réf.)
- 19- SZTEJNBERG (A.).- Biological control of powdery mildews by Ampelomyces quisqualis.- Phytopathology, 69, (9), 1047, 1979.
- 20- YARWOOD (C.E.).- Ampelomyces quisqualis on clover mildew. Phytopathology, 22, 31, 1932.

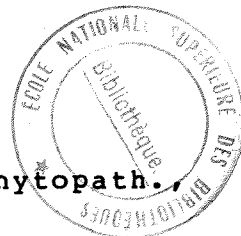
2 - BIBLIOGRAPHIE GENERALE

- 21- ARX (J. A.) von .-The genera of fungi sporulating in pure culture.- 2nd Ed., J. Cramer ed., Lehre, 1974.
- 22- BOOSALIS (M.G.).- Hyperparasitism.- Ann. Rev. Phytopath., 2, 363-376, 1964. (50 réf.)
- 23- SPENCER (D.M.).- The powdery mildews.- Acad. Press. London/New-York, 565 p, 1974.

3 - BIBLIOGRAPHIE COMPLEMENTAIRE

Cette bibliographie est constituée par des références intéressantes dont il n'a pas été possible de se procurer les textes.

- 24- CHONA(B.L.), MUNJAL(R.L.).- Cicinobolus gesatii De Bary :



- Hyperparasite of powdery mildews in India.- Indian Phytopath., 9, 99-105, 1956.
- 25- CVJETKOVIC (B.), MANDIC (R.).- Powdery mildew Erysiphe_crugiferarum and its hyperparasite Ampelomyces_guisgualis. Zast Bilja, 31, (154), 373-378, 1981.
- 26- DOROZHKO (G.R.).- Increase in the development of the fungus Cicinobolus_cesatii on apple powdery mildew during the use of pesticides.- Tr. Stavrop. S-Kh Inst., 3, 77-80, 1972.
- 27- DROZDOVSKAYA (L.S.).- Powdery mildew of medicinal species of groundsel.- Mikol. i Fitol., 12, (4), 338-341, 1978.
- 28- EMMONS (C.W.).- Cicinobolus_cesatii, a study in host-parasite relationships.- Bull. Torrey bot. Club, 57, 421-441, 1930.
- 29- HASHIOKA (Y.), NAKAI (Y.).- Ultrastructure of pycnidial development and mycoparasitism of Ampelomyces_guisgualis parasitic on Erysiphales.- Nihon Kin Gakkai Kaiho, 21, (3), 329-338, 1981.
- 30- KAMAT (M. N.), PATWARDHAN (P.G.).- Hyperparasite Ampelomyces_guisgualis and its role in the development of powdery mildews.- The Proceedings of the Autumn School in Botany, Mahabaleshwar, 132-137, 1966.
- 31- LAVITS'KA (Z. H.), MOROCHKOV'SKA (H. S.).- Powdery mildew of grass plants in the O V Fomin Botanical garden.- Ukrayins'kyi Botanichnyi Zhurnal, 31, (3), 317-321, 1974.
- 32- MHASKAR (D.N.).- Mycoparasite Ampelomyces_guisgualis in artificial culture. III. Parasitism.- J. Univ. Poona Sci. Techn., 48, 15-17, 1976.
- 33- MHASKAR (D.N.), RAO (V.G.).- Pycnidial ontogeny in 5 isolates of Ampelomyces_guisgualis.- Bio-Vigyanam, 2, (1), 27-29, 1977.
- 34- MILAIRE (H.G.), LESPINASSE (Y.), DECOURTYE (L.).- L'amélioration du pommier pour la résistance aux champignons parasites et aux arthropodes nuisibles.- Minist. Agric., Bull. Techn. Inform., (306), 17-34, 1976. (2 pages de réf.).
- 35- MITOV (N.), IBRAHIM (I.).- Un nouveau champignon hyperparasite d'Erysiphe_cichoracearum DC, agent pathogène de l'Oïdium de l'Okra.- Gradin. Lozar. Nauka, 14, (4), 93-98, 1977. (2 réf.).
- 36- RAO (V.G.), MHASKAR (D.N.).- Amino-acid spectrum of 5 isolates of Ampelomyces_guisgualis.- Indian journal of mycology and plant pathology, 5, (2), 161-164, 1977.
- 37- SOENEN (A.), VERHEYDEN (C.).- L'Oïdium du Pommier (Podosphaera_levcotrigha Ell. LT Ev. Salm.).- Rev. Agric., 31, (1), 67-78, 1978. (17 réf.).
- 38- YARWOOD (C.E.).- An overwintering pycnidial stage of Cicinobolus.- Mycologia, 31, 420-422, 1939.
- 39- YUKAWA (Y.K.), KATUMOTO (H.), TAKAHASHI (H.).- Studies on Migrasphaera_guonjimi-japonigae Vienn.-Bourg., and its hyperparasite. I Scanning electron microscopic observations on hyperparasitism.- Bull. Fac. Agric. Yamaguchi University,



9507168